



DE INSPANNINGSPROEF EN ROEITRAINING

Een experimenteel onderzoek bij gezonde studenten naar de invloeden van lichamelijke training op parameters van bloedsomloop, longventilatie en spiermetabolisme en naar de betekenis van een submaximale inspanningsproef voor selectiedoeleinden.

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE
AAN DE MEDISCHE FACULTEIT TE ROTTERDAM, OP GEZAG VAN DE
DECAAN DR. J. MOLL, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER GENEES-
KUNDE, TEGEN DE BEDENKINGEN VAN HET COLLEGE VAN DECANEN
UIT DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE TE VERDEDIGEN
OP WOENSDAG 24 NOVEMBER 1971 TE 16.00 UUR,

DOOR

ALFRED WILHELMUS MULDER
geboren te 's-Gravenhage in 1940

1971

Grafisch Centrum "Alfa", 's-Gravenhage

PROMOTORES

Prof.Dr.J.Gerbrandy
Prof.Dr.A.M.van Leeuwen

CO-REFERENTEN

Dr.J.Pool
Prof.Dr.B.Leijnse

Dit proefschrift werd bewerkt:

in de afdeling Inwendige Geneeskunde I
(Hoofd Prof.Dr.J.Gerbrandy)

in het Patho-Fysiologisch Laboratorium
(Hoofd Dr.J.van Weerden)

in het Centraal Klinisch Chemisch Laboratorium
(Hoofd Prof.Dr.B.Leijnse)
van het Academisch Ziekenhuis Dijkzigt te Rotterdam.

De publikatie van dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door financiële steun van de Nederlandse Sport Federatie en de Koninklijke Nederlandse Centrale Vereniging tot Bestrijding der Tuberculose.

Aan Yvonne.

Aan mijn ouders.

INHOUD

Enkele definities

Gebruikte symbolen

Hoofdstuk 1

 Introductie en probleemstelling 1

Hoofdstuk 2

 Enkele aspecten van inspanningsfysiologie 3

 2.1 Inleiding 3

 2.2 Energieverbruik door spiercontractie 4

 2.3 Energieleverantie 4

 2.4 Zuurstoftransport 8

 2.5 Alveolaire zuurstofspanning 18

 2.6 Het breekpunt 19

Hoofdstuk 3

 Methoden van onderzoek 22

 3.1 Spirometrie 22

 3.2 Ergometrie 23

 3.3 Andere fysische metingen 24

 3.4 Chemische bepalingen in het bloed 25

 3.5 Afgeleiden 27

 3.6 Statische bewerking 29

Hoofdstuk 4

 Proefopzet en uitvoering van de proeven 30

 4.1 Proefopzet 30

 4.2 Uitvoering van de proeven 36

Hoofdstuk 5

 Het effect van training 41

(inhoud II)

5.1	Inleiding	41
5.2	Metingen van de longventilatie	42
5.2.1	Ademvolume	42
5.2.2	Ademfrequentie	45
5.2.3	Ademminuutvolume	47
5.2.4	Zuurstofopname	51
5.2.5	Ademequivalent	55
5.3	Metingen van de bloedcirculatie	58
5.3.1	Hartfrequentie	58
5.3.2	Arteriële bloeddruk	60
5.3.3	Hart Werk Index	62
5.3.4	Zuurstofpols	63
5.4	Het melkzuurgehalte en de veranderingen in de parameters van het zuur-base evenwicht	68
5.4.1	Melkzuurgehalte	68
5.4.2	pH	71
5.4.3	Pco ₂	71
5.4.4	Standaard bicarbonaatgehalte	72
5.5	Veranderingen van het hemoglobine, het hematocriet en het totale eiwitgehalte	74
5.6	Lichaamstemperatuur	77
5.7	Duur van de maximale inspanningsproef	78
5.8	Lichaamsgewicht	78
5.9	Samenvattende conclusies	78
Hoofdstuk 6		
	Reversibiliteit van het effect van training	84
6.1	Inleiding	84

(inhoud III)

6.2 Resultaten	84
6.2.1 Ademminuutvolume	84
6.2.2 Melkzuurgehalte	85
6.2.3 Zuurstofopname	86
6.3 Twee individuele waarnemingen	89
6.4 Samenvattende conclusies	91

Hoofdstuk 7

Individuele effecten van training en hun onderlinge verband	95
7.1 Inleiding	95
7.2 Criteria	95
7.3 Resultaten	98
7.4 Samenvattende conclusies	103

Hoofdstuk 8

Het verband tussen de arteriële bloedgasanalyse en ventilatoire en metabole metingen omstreeks het breekpunt	105
8.1 Inleiding	105
8.2 Eigen waarnemingen	105
8.3 Invloeden van de apparatuur	111
8.4 Het zuurstoftransport bij het breekpunt	114
8.5 Bespreking	116
8.6 Samenvattende conclusies	117

Hoofdstuk 9

De voorspellende waarde van de submaximale inspanningsproef ten aanzien van de maximale belastbaarheid	119
9.1 Inleiding	119

(inhoud IV)

9.2 Resultaten	119
9.2.1 De submaximale inspanningsproef en de maximaal leverbare arbeid op de fietsergometer	119
9.2.2 De voorspellende waarde van de sub- maximale inspanningsproef ten aan- zien van de te verwachten roeipres- tatie	122
9.3 Samenvattende conclusies	128
Samenvatting	131
Summary of the chapters	141
Literatuurlijst	159
Naschrift	167
Curriculum vitae	169

ENKELE DEFINITIES:

1. Maximale aerobe vermogen: maximale hoeveelheid zuurstof, die tijdens het verrichten van arbeid per minuut kan worden opgenomen. Men spreekt ook wel van maximale zuurstofopneming.
2. Aerobe stofwisseling: stofwisselingsprocessen, die zuurstof vereisen.
3. Anaerobe stofwisseling: stofwisselingsprocessen, die geen zuurstof vereisen.
4. Ademequivalent: ventilatie in liters, die nodig is om 100 ml. zuurstof per minuut op te nemen.
5. Breekpunt: het moment tijdens inspanning, waarop de proefpersoon zich gedwongen voelt de arbeid te staken, of waarbij klinische symptomen het voortzetten ervan ontoelaatbaar maken.
6. Maximale belasting: zwaarste belasting, die bij een maximale inspanningsproef bereikt wordt.
7. Submaximale belasting: de arbeidsbelasting, waarbij de proefpersoon geacht wordt matig tot zwaar, doch niet maximaal, te worden belast.
8. Hart Werk Index: index voor de uitwendige hartarbeid. Deze index wordt weergegeven door het produkt van gemiddelde bloeddruk, polsdruk en hartfrequentie (zie ook symbolen).
9. Steady state: de arbeidstoestand, waarbij de zuurstofopname per minuut constant blijft en deze zuurstofopname geringer is dan het maximale aerobe vermogen.
10. Rendement van arbeid: die fractie van de verbruikte chemische energie, die in uitwendige arbeid wordt omgezet.
11. Zuurstofpols: de hoeveelheid zuurstof, die per hartslag wordt opgenomen.
12. Conditie: de trainingstoestand, waarin het lichaam verkeert. Deze wordt door fysieke, emotionele, sociale en intellectuele factoren beïnvloed.

GEBRUIKTE SYMBOLEN (Pappenheimer, 1950)

f_h	hartfrequentie per minuut
f_r	ademfrequentie per minuut
\dot{V}_E	ademminuutvolume (L/min., BTPS)
\dot{V}_E (breekpunt)	het ademminuutvolume op breekpunt
MAMV	het maximale ademminuutvolume
V_T	ademvolume (ml. BTPS)
\dot{V}_{O_2}	zuurstofopname per minuut (ml/min., STPD)
\dot{V}_{O_2} (breekpunt)	de zuurstofopname per minuut op breekpunt
\dot{V}_{O_2} (max.)	de maximale zuurstofopneming
STPD	standaard temperatuur en druk, droog (0°, 760 mmHg)
BTPS	lichaamstemperatuur, barometerdruk, verza- digd met waterdamp
P_{CO_2}	koolzuurspanning (mmHg)
P_{aCO_2}	arteriële koolzuurspanning (mmHg)
S_{aO_2}	arteriële zuurstofsaturatie (%)
P_{aO_2}	arteriële zuurstofspanning (mmHg)
pH	zuurgraad
La	lactaat gehalte (mmol/l), in gearterialiseerd bloed
Standaard bicarbonaat: de bicarbonaat concentratie van bloed, nadat de P_{CO_2} op 40 mmHg is gebracht door equilibratie met een gasmengsel met een P_{CO_2} van 40 mm en een P_{O_2} van meer dan 150 mmHg.	
HWI	Hart Werk Index

Hoofdstuk 1

INTRODUCTIE EN PROBLEEMSTELLING

De door de Grieken voor het eerst in het jaar 776 v. Chr. georganiseerde Olympische spelen illustreren, hoelang de mens reeds in het lichamelijke prestatievermogen is geïnteresseerd. Zowel in de recreatieve als in de arbeidssector is de belangstelling voor het menselijke lichamelijke prestatievermogen snel groeiende. Deze belangstelling wordt gevoed door een voortdurende toevloed van informatie, die met behulp van nieuwe technische hulpmiddelen wordt verkregen.

De definitie van het lichamelijke prestatievermogen is nog steeds een punt van discussie. Zo is Hebbelinck (1969) op grond van bestudering van 34 analytische onderzoeken en definities van 21 prominente Amerikaanse en Europese auteurs tot de conclusie gekomen, dat het lichamelijke prestatievermogen de resultante is van psychosomatische en functioneel motorische geschiktheid. Bij gezonden wordt dit laatste bepaald door: kracht, coördinatie, uithoudingsvermogen en snelheid. Een veel handzamer definitie is gegeven door Bink (1959). Hij omschrijft het lichamelijke prestatievermogen als zijnde de maximale hoeveelheid uitwendige arbeid per tijdseenheid, die het menselijk organisme gedurende een zeker tijdsverloop in staat is te verrichten. Deze definitie geeft het met gestandariseerde functieproeven bepaalde lichamelijke prestatievermogen goed weer en werd uit dien hoofde als uitgangspunt voor deze studie gehanteerd.

De commissie voor Arbeidsgeneeskundig Onderzoek van de Gezondheids Organisatie T.N.O. heeft in 1965 enkele gestandariseerde experimenten voor arbeidsfysiologisch onderzoek voorgesteld. Al naar gelang de probleemstelling kan hieruit een keuze worden gemaakt.

De probleemstelling voor deze studie is voortgekomen uit het onvermogen om studenten op geschiktheid voor raceroeien te testen, en een uitspraak te doen over de te verwachten resultaten van intensieve lichamelijke training. Door herhaalde inspanningsproeven en het vergelijken van de resultaten hiervan met de roeiprestatie, werd getracht inzicht in deze materie te krijgen. Tijdens deze experimenten werd tevens speciaal aandacht geschonken aan de uitputtingsverschijnselen,

die resulteerden in het staken van de inspanningsproef.

Voor het bewerken van deze problematiek stelden wij ons de volgende vijf vragen:

1. in welke mate veranderen bij een groep gezonde, volwassen mannen onder invloed van zware training de functie van hart en longen?
2. in welke mate en hoe snel veranderen fysiologische functies na het staken van intensieve training?
3. zijn de resultaten van een gestandariseerde training voor iedere deelnemer dezelfde?
4. om welke redenen wordt een lineair toenemende arbeidsbelasting afgebroken?
5. zijn er betrouwbare selectiecriteria voor raceroeiers?

Het zal duidelijk zijn, dat behalve het karakter van de arbeidsbelasting, het kernprobleem bij de beantwoording van deze vragen vooral de keuze van de juiste biologische criteria is.

Tijdens raceroeien wordt gedurende een aantal minuten een submaximale en gedurende een zeer korte periode een maximale prestatie vereist. Om hieraan te kunnen voldoen moet de roeier over technische vaardigheid, kracht en over uithoudingsvermogen beschikken. De biologische criteria, die een indruk geven van dit uithoudingsvermogen en die tijdens de experimenten werden geregistreerd, zullen in de hoofdstukken 2 en 3 uitgebreid aan de orde komen. Deze criteria werden verzameld met behulp van spiro-ergometrisch onderzoek, gecombineerd met onbloedige metingen van de bloeddruk en de polsfrequentie. De tijdens de inspanningsproeven optredende chemische veranderingen werden bestudeerd aan de hand van de zuurgraad, de koolzuurspanning, het plasma bicarbonaatgehalte en de stijging van het melkzuurgehalte in het arteriële bloed. Tenslotte werden tijdens de experimenten bloedgasanalyses verricht en werd de mate van hemoconcentratie nagegaan.

Dit onderzoek, waaraan leden van de Rotterdamsche Studenten Roeivereeniging Skadi hun medewerking verleenden, kon worden gerealiseerd dankzij de samenwerking tussen de Longfunctie Afdeling, de Interne Afdeling I en het Centraal Klinisch Chemisch Laboratorium van het Academisch Ziekenhuis Dijkzigt te Rotterdam.

Hoofdstuk 2

ENKELE ASPECTEN VAN INSPANNINGSFYSIOLOGIE

2.1 Inleiding.

Het is om twee redenen gewenst een inleiding te geven over de fysiologie van de lichamelijke inspanning. In de eerste plaats is het niet mogelijk effecten van training te begrijpen zonder te weten, welke fysiologische processen zich tijdens lichamelijke inspanning afspelen. Bovendien kan in deze indeling de keuze van de, tijdens de inspanningsproeven gehanteerde grootheden, worden verantwoord. Literatuurgegevens met betrekking tot de trainingsfysiologie zullen in hoofdstuk 6 ter sprake worden gebracht.

Het verrichten van lichamelijke arbeid wordt door een keten van gebeurtenissen mogelijk gemaakt. De zwakste schakel van deze keten zal individueel bepalend zijn voor het lichamelijke prestatievermogen. Deze keten van gebeurtenissen is schematisch in figuur 2.1 weergegeven. De bespreking hiervan zouden wij met het oog op onze experimenten in vier onderdelen willen splitsen. Deze zijn:

1. energieverbruik door spiercontractie.
2. energieleverantie.
3. zuurstoftransport.
4. invloeden op de alveolaire zuurstofspanning.

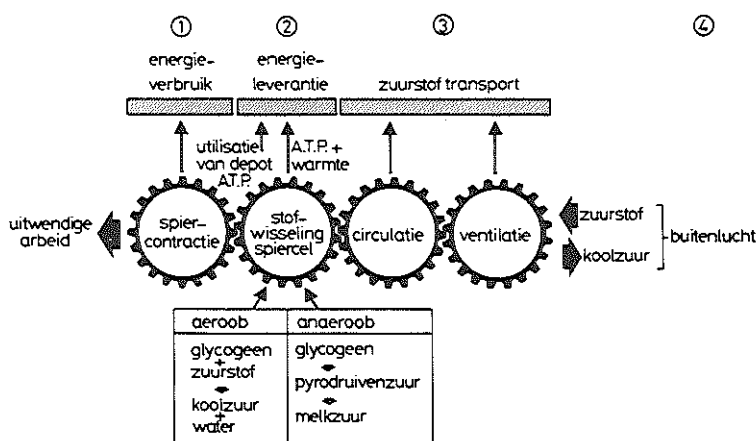


fig. 2.1

Schematische voorstelling van de onderlinge afhankelijkheid van de stofwisseling, de circulatie en de ventilatie tijdens het verrichten van lichamelijke inspanning.

2.2 Energieverbruik door spiercontractie.

Een spier is opgebouwd uit spiervezels. Iedere spiervezel is weer opgebouwd uit een groot aantal myofibrillen. Deze myofibrillen, die een diameter van 1 tot 2μ hebben, bevatten behalve de eiwitten myosine en actine, die samen een complexe verbinding vormen, de energierijke verbindingen adenosine triphosphaat (ATP) en het kreatine fosphaat. Het myosine speelt een actieve rol bij de dephosphorylering van ATP. Het actine en myosine liggen in de myofibrillen naast elkaar gerangschikt en veranderen tijdens de contractie van de spier ten opzichte van elkaar van plaats. Bij deze verplaatsing wordt ATP verbruikt. Met de electronenmicroscopie zijn deze verplaatsingen waarneembaar. De localisatie van het actine en het myosine ten opzichte van elkaar bepaalt, of de spier in de rustfase in gecontraheerde of in een gerelaxeerde toestand is.

2.3 Energieleverantie.

De bespreking van de energieleverantie wordt onderverdeeld in een bespreking van de energieleverende substraten en een bespreking van de energieleverende stofwisselingsprocessen.

a. D e e n e r g i e l e v e r e n d e s u b s t r a t e n .

Van de drie in principe voor het leveren van energie in aanmerking komende substraten, namelijk de koolhydraten, de vetten en de eiwitten, wordt tijdens lichamelijke arbeid praktisch alleen gebruik gemaakt van de koolhydraten.

Afbraak van glycogeen resulteert in de vorming van de energierijke verbinding adenosine triphosphaat (ATP). Wanneer deze energie tijdens een spiercontractie wordt verbruikt, moet nieuwe vorming van ATP deze weer vervangen. Het kreatine fosphaat fungeert in de contraheerende spier als fosphaatdonor. Hiermee wordt in de spier het adenosine diphosphaat (ADP) weer opgebouwd tot adenosine triphosphaat. Voor de heropbouw van adenosine triphosphaat worden in de herstelfase na de arbeid vrije vetzuren en glycogeen verbrand. Het aantal moleculen ATP, dat bij verbranding van bovenbeschreven energiebronnen vrijkomt, wordt bepaald door het karakter van

de cellulaire stofwisselingsprocessen. Hierop zal in het onderstaande nader worden ingegaan.

De bijdrage aan de energieleverantie door de verbranding van vetten is tijdens arbeid zeer gering. Johnson (1969) heeft bij atleten tijdens anderhalf uur hardlopen een stijging van het bloedgehalte van glycerol en vrije vetzuren gemeten. Na het staken van het hardlopen nam pas het gehalte aan ketonlichamen in het bloed toe. Vrije vetzuren worden dus waarschijnlijk niet tijdens arbeid geutiliseerd. Pas in de herstelfase worden deze gemetaboliseerd tot aceetazijnzuur en hydroxyboterzuur. Het verbruik van vetten tijdens lichamelijke inspanning is echter wel afhankelijk van het gevolgde dieet. Zo hebben Issekutz (1963) en Karpovich (1941) erop gewezen, dat bij gebruik van een koolhydraatarm dieet het vetmetabolisme tijdens lichamelijke inspanning verhoudingsgewijs toeneemt.

De eiwitten spelen bij de energieleverantie tijdens inspanning geen rol.

b. De energieleverende stofwisselingsprocessen.

De energie wordt bij korte maximale belastingen, waarbij geen steady state fase bereikt wordt, grotendeels geleverd door anaerobe processen. Bij langer durende maar submaximale belastingen is het organisme via het zuurstoftransportsysteem in staat om aan de zuurstofbehoefte van de spieren te voldoen. Onder die omstandigheden kunnen zuurstofvereisende stofwisselingsprocessen in de energiebehoefte voorzien (aerobe stofwisseling). Al naar gelang de aard van de belasting en de fysieke mogelijkheden van het te onderzoeken organisme om in de zuurstofbehoefte te voorzien, verlopen de stofwisselingsprocessen meer of minder in aerobe of in anaerobe richting.

Onder aerobe omstandigheden resulteert de afbraak van glycogeen via de citroenzuurcyclus in de vorming van 38 mol. ATP/mol. glucose en de afbraak van vetten in de vorming van 44 mol. ATP/mol. aceetazijnzuur.

Indien echter geen zuurstof beschikbaar is, wordt de aerobe glycolyse geblokkeerd, waardoor uit pyrodruiven-

zuur geen azijnzuur en oxaalazijnzuur kan worden gevormd. Het pyrodruivenzuur wordt onder deze omstandigheden dan gereduceerd tot melkzuur (anaerobe glycolyse). Bij de anaerobe glycolyse komen er per mol. glucose slechts 3 mol. ATP vrij. Bij de reductie van pyrodruivenzuur tot melkzuur worden coenzymen geoxydeerd en worden deze opnieuw in de glycogeenafbraak betrokken.

Uit het bovenstaande zal duidelijk zijn, dat voor een grote ATP leverantie per mol. substraat een goede zuurstofvoorziening een eerste vereiste is. Indien het zuurstoftransport tijdens het verrichten van arbeid tekortschiet, zal de anaerobe glycolyse in het bloed leiden tot een stijging van het melkzuurgehalte en tot een daling van de zuurgraad.

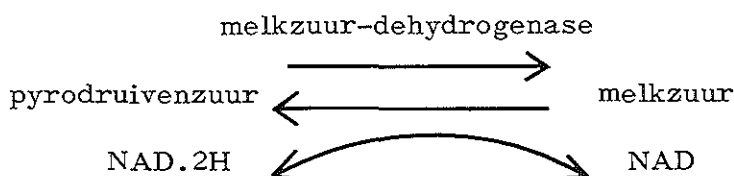
Toch treedt bij gebrek aan zuurstof niet onmiddellijk de anaerobe glycolyse in werking. Dit uitstel is mogelijk dankzij een viertal "vluchtmechanismen". Deze zijn:

1. een toegenomen zuurstofextractie en redistributie van zuurstofhoudend bloed, waardoor het zuurstofgehalte van het veneuze bloed daalt.
2. desaturatie van het oxymyoglobine.
3. vermindering van de in de lichaamsvloeistoffen opgeloste zuurstof (Wasserman, 1967).
4. depletie van ATP en kreatine fosphaat depôts in de spieren.

Deze vluchtmechanismen dragen echter wel bij tot het ontstaan van zuurstofschuld. Deze wordt na het staken van de lichamelijke inspanning ingelost. Dill (1960) heeft aangetoond, dat een man van een gemiddelde grootte een maximale zuurstofschuld in de orde van acht liter kan hebben. Hieruit volgt, dat uit deze voorraad voor een kortdurende krachtsexplosie van ongeveer 20 seconden 400 ml. zuurstof per seconde beschikbaar is. Indien men weet, dat een redelijk getrainde persoon zelf nog via het transportsysteem in ongeveer 50 ml. zuurstof per seconde kan voorzien, dan blijkt dat 90% van de maximaal beschikbare hoeveelheid zuurstof later als zuurstofschuld moet worden ingelost.

Wanneer de zuurstofdepôts opgebruikt zijn, treedt de anaerobe glycolyse in werking, en wordt pyrodruivenzuur met behulp van het enzym melkzuurdehydrogenase omgezet

tot melkzuur.



Bij deze omzetting wordt het coenzym NAD.2H gereoxydeerd tot NAD. Dit coenzym wordt daarna weer in de eerste stappen van de citroenzuurcyclus ingezet. Het pyrodruivenzuur fungeert in deze reactie dus als waterstof-acceptor.

De vorming van melkzuur doet de pH van het bloed aanmerkelijk meer dalen dan de vorming van Co_2 . Bij korte piekbelastingen kunnen de veranderingen van de pH aanzienlijk zijn. In zijn mededelingen omtrent de fysiologie van het sporthart maakte Reindell (1965) bekend, dat bij wielrenners na sprinten in het arteriële bloed zelfs een pH van 6,9 is vastgesteld.

De relatie tussen de melkzuurproduktie en de na de arbeidsbelasting in te lossen zuurstofschuld is door meerdere auteurs bestudeerd, (Huckabee 1958, Wasserman 1967, Duke Thomas 1965, Margaria 1963, en Saiki 1967). Huckabee postuleerde het begrip "excess lactate". Hieronder verstond hij de bij zijn inspanningsproeven waargenomen verschuivingen in het melkzuur/pyrodruivenzuur evenwicht. Hij nam een correlatie waar tussen het "excess lactate" en de zuurstofschuld. Deze correlatie bleek zelfs bij zeer geringe arbeidsbelastingen te bestaan. Hij concludeerde hieruit, dat op alle belastingniveaus melkzuurproduktie plaats vond. Meerdere van bovengenoemde auteurs zijn het met deze opvatting echter niet eens. Hun standpunt is, dat er bij "steady state" belastingen een drempel bestaat, waar beneden niet (alactic phase) en waarboven wel (lactic phase) melkzuurproduktie plaats vindt. Deze drempel wordt overschreden, zodra de oxydatieve stofwisselingsprocessen hun maximale capaciteit hebben bereikt. Deze drempel wordt door getrainden later bereikt dan door niet-getrainden (Williams 1967).

Het is gebleken, dat meting van het melkzuur- en pyrodruivenzuurgehalte een betrouwbaarder criterium voor de mate van anaerobiosis zijn, dan de bepaling van de zuurstofschuld (Duke Thomas 1965). De oorzaak hiervan is gelegen in het feit, dat na een uitputtende arbeid meting van een zuurstofschuld nooit onder basale omstandigheden kan plaatsvinden.

Een aantal facetten van de zich tijdens arbeid ontwikkelende anaerobiosis zijn nog niet goed verklaard. Zo nam Åstrand (1963) waar, dat lange afstands skiërs tijdens het verloop van de race een geleidelijke daling van hun melkzuurspiegels vertoonden, hetgeen een aanwijzing was, dat er in het evenwicht van vorming en afbraak verschuivingen optraden.

Ook de door meerdere auteurs, o.a. Huckabee (1958), Doll (1966) en Diamant (1968), waargenomen stijgingen van het melkzuurgehalte na het staken van een belasting is nog niet bevredigend verklaard. Het is waarschijnlijk, dat het lactaat van het intra-cellulaire naar het extra-cellulaire compartiment verschuift.

Reeds sedert 1926 (Meyerhof en Lohmann) is bekend, dat het tijdens arbeid gevormde melkzuur ten dele in de lever wordt geresynthetiseerd tot glycogeen en ten dele wordt geoxydeerd tot pyrodruivenzuur. Praktisch alle weefsels zijn tot dit laatste in staat.

Zowel tijdens arbeid als in de herstelfase is de eliminatie van melkzuur in de urine gering (Ström, 1949). Saiki (1967) heeft waargenomen, dat bij getrainde individuen het melkzuurgehalte in het bloed in de herstelfase sneller daalt dan bij ongetrainden.

2.4 Zuurstoftransport.

a. Inleiding.

Het zuurstoftransport wordt in principe door vijf factoren beïnvloed. Deze zijn:

1. de cellulaire mogelijkheden tot extraheren van de beschikbare zuurstof.
2. het zuurstofgehalte per volume eenheid bloed. Dit wordt in belangrijke mate bepaald door het hemoglobinegehalte en het beloop van de oxyhemoglobine dissociatie curve

3. de hoeveelheid circulerend bloed per tijdseenheid.
4. de diffusie door de alveolo-capillaire membraan en de ventilatie/perfusie ratio.
5. de longventilatie.

Ieder van deze vijf factoren kan in principe bepalend zijn voor de maximale hoeveelheid zuurstof, die kan worden opgenomen en kan worden geutiliseerd. De maximale zuurstofopneming, ofwel het maximale aerobe vermogen, is een der meest gehanteerde criteria in de arbeidsfysiologische experimenten (Robinson 1932, Knuttgen 1967, en Åstrand 1968). De maximale zuurstofopneming wordt in belangrijke mate door training beïnvloed. In tabel 2.1 zijn enkele metingen van de maximale zuurstofopneming bij ongetrainde mannelijke populaties weergegeven.

De geringe verschillen worden waarschijnlijk veroorzaakt door de niet gelijke samenstelling van de onderzochte groepen en de bepalingsmethoden, die niet identiek waren. De maximale zuurstofopneming kan namelijk op verschillende wijzen worden bepaald (o.a. Bonjer 1965). Hierop zal echter in dit verband niet verder worden ingegaan.

tabel 2.1

auteur	leeftijd	maximale zuurstofopneming
Bink (1966)	20-25 jaar	3,1 l/min.
Binkhorst (1966)	20-29 jaar	3,0 l/min.
Åstrand (1968)	20 jaar	3,5 l/min.
Knuttgen (1967)	15-18 jaar	3,3 l/min.
Saltin (1967)	20-30 jaar	3,1 l/min.

Bij vrouwen ligt de maximale zuurstofopneming lager dan bij mannen. Zo mat Knuttgen (1967) bij vrouwelijke adolescenten een maximale zuurstofopneming, die 67% bedroeg van die der mannelijke leeftijdsgenoten. Ook Åstrand (1968) nam dit verschil waar. Bij een populatie van 350 gezonde mannen en vrouwen bleek de maximale

zuurstofopneming op 20-jarige leeftijd in ongetrainde toestand resp. $3\frac{1}{2}$ l/min. en $2\frac{1}{2}$ l/min. te zijn. Op hogere leeftijd neemt het maximale zuurstofopnemende vermogen geleidelijk af.

b. Z u u r s t o f e x t r a c t i e .

Eengegeven, waar vooral de laatste tijd op wordt gewezen, betreft het beperkte vermogen van de spiercellen om de beschikbare zuurstof uit het bloed te extraheren. Elke vorm van stofwisseling vereist een nauwkeurig geïntegreerde activiteit van enzymsystemen. Deze enzymen vervullen een rol bij talrijke specifieke stofwisselingsprocessen en worden in hun activiteiten bijgestaan door coenzymen, die de bij de katalytische processen vrijkomende chemische resten transporteren. Zij functioneren in serie. Het traagst verlopende proces is hierbij bepalend voor de gehele transportketen. Bij de biologische oxydatie heeft dit transport veelal het karakter van een dehydrogenatie. Het zijn bijvoorbeeld het nicotinamide adenine dinucleotide (NAD) en het diphosphopyridine nucleotide (DPN), die deze taak vervullen. De flavoproteïnen en cytochroomoxidasen reoxyderen weer de dehydrogenasen. Wanneer nu deze enzymsystemen, hetzij door een kwantitatief tekort of door de relatieve traagheid van hun reactiesnelheid, tekortschieten, wordt de stofwisseling anaeroob. Varnauskas (1966) heeft bij hartpatiënten en Holloszy (1967) heeft bij ratten waargenomen, dat training resulteerde in een sterke toename van de bij de oxydatieve phosphorylering betrokken zijnde enzymsystemen. Ook Faulkner (1968) heeft gewezen op de waarschijnlijkheid, dat verschillen in het maximale prestatievermogen in belangrijke mate door de capaciteit van het cellulaire enzymstelsel worden bepaald. In dit verband zijn ook de experimenten van Tharp (1966) van belang. Hij heeft met de Warburg opstelling bij ratten na training geen geringer zuurstofverbruik van geïsoleerde skeletspieren, leverweefsel, diafragma, en miltweefsel kunnen vaststellen. Dit bewijst, dat er geen veranderingen in het basaal metabolisme verantwoordelijk zijn voor de tijdens training ontstane verbetering van het lichamelijke prestatievermogen.

Tenslotte hebben meerdere auteurs mededeling gedaan over de tijdens training bestaande samenhang tussen verbetering van het lichamelijk prestatievermogen en het bij zware belastingen groter wordende verschil tussen het arteriële en het veneuze zuurstofgehalte. Dit wil met andere woorden zeggen, dat door training het vermogen van de spiercellen om zuurstof uit het arteriële bloed te extraheren wordt verbeterd, (Ekblom 1969, Andrew 1966, Douglas 1968 en Kayser 1970).

Deze literatuurgegevens, die tevens op de essentie van de trainingsfysiologie ingaan, zullen in hoofdstuk 5 opnieuw ter sprake komen.

c. De zuurstofaffiniteit van het bloed.

Het hemoglobinegehalte van het bloed bepaalt, hoeveel zuurstof er per eenheid bloed kan worden getransporteerd. Iedere gram hemoglobine kan, indien het volledig verzadigd is, 1,34 ml. zuurstof transporteren. Het geoxygeneerde bloed, dat de long verlaat, bevat door deze eigenschap bij een zuurstofspanning van 100 mmHg en een verzadiging van 95% ongeveer 19 volume procent zuurstof. Met deze gegevens is het begrijpelijk, dat bloedarmoede het zuurstoftransport in negatieve zin beïnvloedt.

De oxyhemoglobine dissociatiecurve is de grafische weergave van het verband tussen de zuurstofverzadiging van hemoglobine en de zuurstofspanning. Verschuivingen in de ligging van deze curve geven verschillen in zuurstofaffiniteit van het hemoglobine weer.

De pH, P_{CO_2} en de stijging van de lichaamstemperatuur zijn tijdens lichamelijke inspanning de belangrijkste factoren, die de zuurstofaffiniteit van het hemoglobine wijzigen. Hierdoor wordt de afgifte van zuurstof door het bloed aan de weefsels vergemakkelijkt (o.a. Severinghaus, 1958). Aangetoond is, dat het 2,3 - difosfoglyceraat en adenosine-triphosfaatgehalte in de erythrocyt invloed uitoefent op de zuurstofaffiniteit van het hemoglobine. Naarmate de concentratie van deze stoffen in de erythrocyt hoger is, verloopt de zuurstofafgifte door het bloed aan de weefsels gemakkelijker. Er is dus sprake van een zeker competitief effect, dat als regelsysteem fungeert voor een optimale zuurstofvoorziening van de

weefsels ter instandhouding van een normale zuurstofspanning in de weefsels, (o.a. de Leeuw 1970).

d. Invloed van bloedsomloop.

Bevegård en Shepherd publiceerden in 1967 een overzicht van het aanpassingsmechanisme van de bloedcirculatie tijdens lichamelijke inspanning.

De circulatoire veranderingen zijn kwantitatief afhankelijk van de houding, waarin de arbeid wordt uitgevoerd. Tijdens submaximale belastingen, waarbij een "steady state" blijft gehandhaafd, is er een lineaire relatie tussen de zuurstofopneming, de hartfrequentie en het hartminuutvolume.

Lichamelijke inspanning veroorzaakt een directe dilatatatie van arteriolen in de contraherende spieren via een onbekend, waarschijnlijk lokaal mechanisme. Dit heeft een veranderde distributie van bloed tot gevolg en treedt er in andere orgaansystemen een verminderde doorbloeding op. Zo wordt de nierdoorbloeding, die in rust 20 tot 25% van het hartminuutvolume bedraagt, met de helft tot driekwart gereduceerd. Behalve deze gewijzigde distributie van bloed neemt het hartminuutvolume toe. Hierdoor blijft de doorbloeding van de werkende spieren intact.

De vergroting van het hartminuutvolume is mogelijk, doordat de veneuze terugvloed van bloed naar het hart toeneemt (wet van Starling), en tevens door een vergroting van de intrinsieke contractiekracht van de hartspeer onder invloed van catecholaminen. De versterkte veneuze terugvloed wordt mogelijk gemaakt door het in werking treden van de spierpomp, waardoor bloed sneller uit de arbeid verrichtende lichaamsdelen naar het hart en de longen wordt teruggepompt. Deze spierpomp wordt verder ondersteund door tonus veranderingen in de post capillaire vaten van het gehele vaatbed. Dit verloopt waarschijnlijk via een centraal geïntegreerd neurogeen mechanisme.

Tenslotte speelt bij de terugvloed van bloed naar het hart ook nog de thoraco-abdominale pomp een rol. Veranderingen in het hartminuutvolume zijn dus secundair aan veranderingen in de totale vaatweerstand en vergroting van de intrinsieke contractiekracht van het hart. Naar-

mate de redistributie van bloed onder invloed van bovenbeschreven adaptatiemechanismen efficiënter geschiedt, wordt het maximale prestatievermogen groter.

Vergroting van het hartminuutvolume kan tijdens arbeid geschieden door toeneming van de hartfrequentie of door vergroting van het slagvolume. Welke van deze twee hiervoor voornamelijk zorg draagt, is afhankelijk van de einddiastolische vullingsdruk en de vulling van de ventrikels. Bij zware belasting is de bijdrage van de hartfrequentie echter veruit het belangrijkste.

Het slagvolume van het hart, dat bij gezonden in onge-trainde toestand in rust 60 tot 80 ml. bedraagt, stijgt bij zwaardere belasting tot 100 à 140 ml. Het maximale hartminuutvolume varieert tussen de 18 en 24 liter. Deze waarden gelden voor mannen en liggen voor vrouwen lager. Bij atleten zijn door Ekblom (1968) slagvolumina van 189 ml. en hartminuutvolumina van 42 liter gemeten. De vergroting van het hartminuutvolume is vooral direct na het begin van de arbeid imposant. Gilbert (1967) zag in de eerste minuut van een middelzware belasting een stijging van het hartminuutvolume van 150%.

De geschetste circulatoire veranderingen resulteren in een stijging van de systolische en een gelijkblijven of een lichte stijging van de diastolische bloeddruk (Bevegård, 1960). Er treden versnellingen op van de hartfrequentie tot 180 - 190/min.

e. Diffusiecapaciteit.

Er zijn op dit moment geen aanwijzingen, dat zelfs bij extreem zware arbeidsbelastingen diffusie van gassen door de alveolo-capillaire membraan een beperkende factor voor de zuurstofopname is, (Lilienthal, 1946, Asmussen 1966, Falls 1968). Tijdens het verrichten van lichamelijke arbeid treden er echter op alveolo-capillair niveau wel veranderingen op.

De diffusiecapaciteit van zuurstof, die in rust 25 ml. zuurstof per mmHg spanningsgradient bedraagt, stijgt tijdens inspanning tot ongeveer 80 ml. zuurstof. Dit wordt mogelijk gemaakt door een verbeterde perfusie-ventilatie ratio. Het zijn vooral de beide longapices, die tijdens lichamelijke arbeid beter worden geperfundeed.

Behalve dat de perfusie-ventilatie ratio verbetert, neemt tijdens lichamelijke inspanning door de hyperventilatie tevens de alveolaire zuurstofspanning toe. Bovendien wordt de diffusiecapaciteit nog beïnvloed door de snelheid, waarmee het bloed de longcapillairen passeert. Deze bedraagt in rust 0,75 sec. (Comroe, 1967). Veranderingen in de diffusiecapaciteit en postalveolaire bijmenging van veneus bloed via de tijdens inspanning functionerende arterio-veneuze shunts en de venae bronchiales zijn bepalende factoren voor het alveolo-arteriële zuurstofspanningsverschil. Dit verschil is niet op alle belastingsniveaus even groot. In rust bedraagt het alveolo-arteriële zuurstofspanningsverschil 10 tot 15 mmHg. Dit neemt tijdens zware lichamelijke arbeid toe tot ± 35 mmHg (Asmusen en Nielsen, 1960).

Bij lichte en matige belastingen daalt het alveolo-arteriële zuurstofspanningsverschil door verbetering van de perfusie-ventilatie ratio. Bij zeer zware belastingen wordt dit gebeuren beïnvloed door de sterk verkorte perfusietijd. Hesser (1967) nam bij lichte en matige belastingen een afname van het alveolo-arteriële zuurstofspanningsverschil waar. Ook Whipp (1969) bevestigde, dat veranderingen in de zuurstofspanningsgradient afhankelijk waren van de belastingsgraad. Tijdens een toenemende ergometer belasting werd de gradient tijdens matige inspanning kleiner, dankzij een verbeterde perfusie-ventilatie ratio, doch de gradient bleek bij een zeer zware belasting sterk toe te nemen.

f. Longventilatie.

Beneden het belastingsniveau, waarbij het maximale zuurstofopnemende vermogen wordt benaderd, neemt het ademminuutvolume bij toename van de belastingsgraad, evenals de zuurstofopname per minuut en het hartminuutvolume, lineair toe. Bij het naderen van de maximale belastbaarheid verandert deze relatie. Er ontstaat een snellere toename van het ademminuutvolume, dan van de zuurstofopname per minuut.

In het kader van deze gebeurtenis passen enkele gegevens over de factoren, die het ademhalingspatroon bepalen. Waarschijnlijk wordt op verschillende belastings-

niveaus het ademhalingsstype niet door hetzelfde mechanisme geregeld. Krogh en Lindhard (1913) waren de eersten, die als oorzaak voor de hyperventilatie onmiddellijk na het begin van de arbeidsbelasting een neurogeen mechanisme veronderstelden. Meerdere auteurs, waaronder Asmussen en Nielsen (1950) en Comroe (1965) hebben deze theorie sedertdien ondersteund. Asmussen en Nielsen namen waar, dat wanneer men de humorale beïnvloeding van het ademhalingscentrum vanuit een arbeid verrichtende spier onmogelijk maakte, door een stuwband om de extremititeit van een proefpersoon te leggen, er toch een daling van de arteriële koolzuurspanning door hyperventilatie optrad. Dit wijst op een neurogeen mechanisme bij het tot stand komen van het hyperventileren tijdens lichamelijke arbeid. Comroe (1965) meent, dat bij lichte arbeid vooral neurogene stimuli uit proprioceptoren in de arbeidende spieren via de cortex cerebri het ademhalingscentrum prikkelen.

Dit reflectoire gebeuren, dat Comroe verantwoordelijk stelt voor de snelle veranderingen van het ventilatiepatroon bij het starten en ook na het beëindigen van de arbeid, wordt door andere auteurs in twijfel getrokken. Zo nam Beaver (1968) bij het starten en beëindigen van lichamelijke arbeid bij acht proefpersonen een zeer individueel ventilatiepatroon waar, hetgeen pleitte voor de aanwezigheid van meerdere de ademhaling stimulerende prikkels. Joels en White (1969) hebben bij katten die onder narcose waren en bij gedecerebreerde katten aangetoond, dat een snelle infusie van adrenaline en noradrenaline via prikkeling van arteriële chemoreceptoren eveneens hyperventilatie doet ontstaan. Asmussen (1950) zag bij twee goed getrainde studenten, dat een autotransfusie van bloed uit extremiteiten 15 minuten nadat deze zwaar waren belast, opnieuw hyperventilatie veroorzaakte. Deze waarneming wijst eveneens op de aanwezigheid van andere dan neurogene stimuli alleen in het de ventilatie dirigerende mechanisme. Zo heeft Bannister (1954) gewezen op de rol, die de koolzuurspanning in het arteriële bloed tijdens lichamelijke inspanning bij de regulatie van de ademhaling speelt. Op grond van onderzoeken naar de relatie tussen de alveolaire koolzuurspanning en de hyperventilatie tijdens inspanning, kwam Bannister tot de

conclusie, dat de stijging van de lichaamstemperatuur en de zich ontwikkelende acidose het ademhalingscentrum verhoogd gevoelig maken voor veranderingen in de koolzuurspanning van het bloed en dat hierdoor tijdens arbeid reeds een geringe stijging van het koolzuurgehalte tot sterk hyperventileren aanleiding kan zijn. Wanneer men deze gegevens samenvat, lijkt de veronderstelling van Comroe(1944), dat de hyperventilatie tijdens middelzware lichamelijke inspanning door een geïntegreerd neuro-humoraal mechanisme wordt bepaald, nog steeds gerechtvaardigd.

De hierboven weergegeven factoren spelen echter bij extreem zware arbeid slechts een ondergeschikte rol. De regeling van de ademhaling wordt onder deze omstandigheden in hoge mate bepaald door het zich ontwikkelen van een metabole acidose. Een respiratoire correctie hiervan kan alleen geschieden door een toeneming van de alveolaire ventilatie, die sterker is dan nodig voor het zuurstof transport (Comroe 1965, Wasserman 1967).

Voor de beoordeling van de hyperventilatie tijdens inspanning is inzicht in de netto zuurstof opbrengst van dit hyperventileren essentieel. De netto zuurstof opbrengst of het rendement van de ventilatie wordt bepaald door verschuivingen in de perfusie-ventilatie ratio en de hoeveelheid zuurstof, die de ademhalingsspieren zelf voor hun arbeid opeisen.

Tijdens inspanning wordt de perfusie-ventilatie ratio beïnvloed door een groter worden van de fysiologische dode ruimte, namelijk van \pm 150 ml tot 500 ml (Henderson 1915) en een toename van de longperfusie. Hoe ingewikkeld deze interactie is, blijkt onder meer uit onderzoekingen van Rusher (1970), die heeft aangetoond, dat de gelijkmatigheid van de alveolaire ventilatie, die in belangrijke mate bepalend is voor de dode ruimte, al naar gelang de gehanteerde criteria gelijk blijft, toeneemt of afneemt. Met andere woorden: onnauwkeurigheid van de bepalingsmethode maakt het trekken van conclusies tot een hachelijke zaak. Bouhuys heeft in 1970 bij relatief lage ademminuutvolumina een gelijkblijvend ventilatoir rendement vastgesteld. De waarneming van Bouhuys wordt ondersteund door die van Wasserman (1967), die met behulp van de stikstofuitwassingsmethode heeft vastgesteld, dat

het quotient van de fysiologische dode ruimte (d.w.z. de alveolaire dode ruimte + de anatomische dode ruimte) en het ademvolume tijdens arbeid lager ligt dan in rust. De verklaring hiervan moet worden gezocht in een toegenomen longperfusie en een ten opzichte van de anatomische dode ruimte sterkere toename van het ademvolume. Het quotient wordt niet beïnvloed door de belastingsgraad of de duur van de belasting.

De voor de ademhaling benodigde zuurstof neemt bij het groter worden van het ademminuutvolume onevenredig toe. De te verrichten arbeid blijkt voor een bepaalde alveolaire ventilatie in belangrijke mate afhankelijk te zijn van de ademprequentie. Deze arbeid is groot bij zeer lage en zeer hoge ademp frequenties. Het lichaam tracht ieder ademminuutvolume met een individueel verschillende optimale frequentie te realiseren (Petit en Milic-Emili 1959, en Bartlett 1958). De oorzaak van de toename van de ademarheid bij grotere ademminuutvolumina moet worden gezocht in het tijdens hyperpnoe optreden van turbulentie in de luchtwegen. De passage van lucht door de ademhalingswegen, die in rust en bij kleine ademminuutvolumina een laminair karakter heeft, verandert hierdoor. Bovendien is de expiratie tijdens sterk hyperventileren een actief spiergebeuren, hetgeen in tegenstelling tot de situatie die bestaat bij kleinere ademminuutvolumina (minder dan 30 liter per minuut) eveneens de ventilatoire arbeid doet toenemen (Otis, 1954). Tenslotte neemt de elastische weerstand in de long bij groter worden van het ademminuutvolume sterk toe.

Alhoewel de zuurstofbehoefte tijdens hyperventileren onevenredig toeneemt, wordt bij grote ademminuutvolumina, bijv. 130 liter per minuut, slechts ongeveer 5% van de maximale zuurstofopneming voor de energievoorziening van de ademhalingsspieren verbruikt (Falls, 1968). Nielsen (1936) heeft vastgesteld, dat bij een ademminuutvolume van ongeveer 10 liter de voor de ademarheid benodigde zuurstof 1 ml. zuurstof per liter ventilatie en bij 50 liter de zuurstofbehoefte 2 ml. per liter ventilatie bedraagt.

2.5 Alveolaire zuurstofspanning.

Veranderingen in de alveolaire zuurstofspanning, die het gevolg zijn van veranderingen in de zuurstofspanning van de ingeademde lucht, spelen op zeeniveau geen rol. Bij het gebruik van apparatuur, waarbij het ventilatiecircuit gesloten is, kan deze factor theoretisch wel een rol spelen. Aangezien bij onze experimenten van deze methode gebruik werd gemaakt, is het nodig op de mogelijke gevolgen van wisselingen in de zuurstofspanning van de geïnspireerde lucht in te gaan.

Tijdens vergelijkende inspanningsproeven, in een milieu dat 100% zuurstof bevatte, bleken verschillende biologische criteria, in vergelijking tot de waarnemingen in een milieu met een zuurstofpercentage van 21% aanzienlijk te verschillen. Bannister en Cunningham (1953) zagen de arbeidscapaciteit toenemen. Het ademminuutvolume bleek tijdens zware arbeid in een 100% zuurstof bevattend milieu lager te liggen dan in een milieu met 21% zuurstof. Ook de melkzuurvorming was geringer en de P_{CO_2} vertoonde daarbij een tendens tot stijgen. Tijdens experimenten met een gesloten spirometer, gevuld met 100% zuurstof, zag Margaria (1961) het maximale zuurstofopnemende vermogen in vergelijking tot experimenten in een 21% zuurstof bevattend milieu met 10% toenemen. Asmussen en Nielsen (1955) en Miller (1952) namen waar, dat de mate van circulatoire adaptatie tijdens het verrichten van arbeid in een milieu met 100% zuurstof en in een milieu met 21% zuurstof niet verschilden. Kayser (1970) nam onder hyperbare omstandigheden tijdens inspanning in een 100% zuurstof bevattend milieu bij een lage arbeidsbelasting geen en tijdens matig zware belasting wel een geringere lactaatvorming waar. Het maximaal zuurstofopnemende vermogen werd niet beïnvloed. Lambertsen (1959) zag bij soortgelijke experimenten echter wel een geringere acidemie en tevens een lager ademminuutvolume dan bij experimenten onder atmosferische druk.

De effecten van lage zuurstofspanning in de geïnspireerde lucht zijn voornamelijk op grote hoogte onderzocht. Deze studies zijn echter door het verschil in opzet niet goed vergelijkbaar. Kayser (1970), die een zeer uitvoerige studie van het lichamelijk prestatievermogen tijdens hypobare omstandigheden heeft verricht, heeft vastgesteld, dat het menselijke

het quotient van de fysiologische dode ruimte (d.w.z. de alveolaire dode ruimte + de anatomische dode ruimte) en het ademvolume tijdens arbeid lager ligt dan in rust. De verklaring hiervan moet worden gezocht in een toegenomen longperfusie en een ten opzichte van de anatomische dode ruimte sterkere toename van het ademvolume. Het quotient wordt niet beïnvloed door de belastingsgraad of de duur van de belasting.

De voor de ademhaling benodigde zuurstof neemt bij het groter worden van het ademminuutvolume onevenredig toe. De te verrichten arbeid blijkt voor een bepaalde alveolaire ventilatie in belangrijke mate afhankelijk te zijn van de ademprequentie. Deze arbeid is groot bij zeer lage en zeer hoge ademp frequenties. Het lichaam tracht ieder ademminuutvolume met een individueel verschillende optimale frequentie te realiseren (Petit en Milic-Emili 1959, en Bartlett 1958). De oorzaak van de toename van de ademarheid bij grotere ademminuutvolumina moet worden gezocht in het tijdens hyperpnoe optreden van turbulentie in de luchtwegen. De passage van lucht door de ademhalingswegen, die in rust en bij kleine ademminuutvolumina een laminair karakter heeft, verandert hierdoor. Bovendien is de expiratie tijdens sterk hyperventileren een actief spiergebeuren, hetgeen in tegenstelling tot de situatie die bestaat bij kleinere ademminuutvolumina (minder dan 30 liter per minuut) eveneens de ventilatoire arbeid doet toenemen (Otis, 1954). Tenslotte neemt de elastische weerstand in de long bij groter worden van het ademminuutvolume sterk toe.

Alhoewel de zuurstofbehoefte tijdens hyperventileren onevenredig toeneemt, wordt bij grote ademminuutvolumina, bijv. 130 liter per minuut, slechts ongeveer 5% van de maximale zuurstofopneming voor de energievoorziening van de ademhalingsspieren verbruikt (Falls, 1968). Nielsen (1936) heeft vastgesteld, dat bij een ademminuutvolume van ongeveer 10 liter de voor de ademarheid benodigde zuurstof 1 ml. zuurstof per liter ventilatie en bij 50 liter de zuurstofbehoefte 2 ml. per liter ventilatie bedraagt.

2.5 Alveolaire zuurstofspanning.

Veranderingen in de alveolaire zuurstofspanning, die het gevolg zijn van veranderingen in de zuurstofspanning van de ingeademde lucht, spelen op zeeniveau geen rol. Bij het gebruik van apparatuur, waarbij het ventilatiecircuit gesloten is, kan deze factor theoretisch wel een rol spelen. Aangezien bij onze experimenten van deze methode gebruik werd gemaakt, is het nodig op de mogelijke gevolgen van wisselingen in de zuurstofspanning van de geïnspireerde lucht in te gaan.

Tijdens vergelijkende inspanningsproeven, in een milieu dat 100% zuurstof bevatte, bleken verschillende biologische criteria, in vergelijking tot de waarnemingen in een milieu met een zuurstofpercentage van 21% aanzienlijk te verschillen. Bannister en Cunningham (1953) zagen de arbeidscapaciteit toenemen. Het ademinuutvolume bleek tijdens zware arbeid in een 100% zuurstof bevattend milieu lager te liggen dan in een milieu met 21% zuurstof. Ook de melkzuurvorming was geringer en de P_{CO_2} vertoonde daarbij een tendens tot stijgen. Tijdens experimenten met een gesloten spirometer, gevuld met 100% zuurstof, zag Margaria (1961) het maximale zuurstofopnemende vermogen in vergelijking tot experimenten in een 21% zuurstof bevattend milieu met 10% toenemen. Asmussen en Nielsen (1955) en Miller (1952) namen waar, dat de mate van circulatoire adaptatie tijdens het verrichten van arbeid in een milieu met 100% zuurstof en in een milieu met 21% zuurstof niet verschilden. Kayser (1970) nam onder hyperbare omstandigheden tijdens inspanning in een 100% zuurstof bevattend milieu bij een lage arbeidsbelasting geen en tijdens matig zware belasting wel een geringere lactaatvorming waar. Het maximaal zuurstofopnemende vermogen werd niet beïnvloed. Lambertsen (1959) zag bij soortgelijke experimenten echter wel een geringere acidemie en tevens een lager ademinuutvolume dan bij experimenten onder atmosferische druk.

De effecten van lage zuurstofspanning in de geïnspireerde lucht zijn voornamelijk op grote hoogte onderzocht. Deze studies zijn echter door het verschil in opzet niet goed vergelijkbaar. Kayser (1970), die een zeer uitvoerige studie van het lichamelijk prestatievermogen tijdens hypobare omstandigheden heeft verricht, heeft vastgesteld, dat het menselijke

organisme door een sterkere zuurstofextractie uit het bloed tijdens zware belasting in staat is om een geringe daling van de arteriële zuurstofsaturatie niet te laten resulteren in een verkleining van de arbeidscapaciteit en in een vermindering van de maximale zuurstofopneming. Tijdens inspanningsproeven bij een luchtdruk van 630 mmHg ging een daling van de arteriële zuurstofsaturatie van 3% kort vóór het breekpunt niet gepaard met een verkleining van de arbeidscapaciteit en een vermindering van het maximale zuurstofopnemende vermogen. Tijdens inspanningsproeven bij een luchtdruk van 560 mmHg daalde de arteriële zuurstofsaturatie kort voor het breekpunt met 10%. Hierbij namen de arbeidscapaciteit en de maximale zuurstofopneming wel af.

Bij deze experimenten bleek de pH van het veneuze bloed bij een maximale belasting onafhankelijk te zijn van de zuurstofsaturatie van het arteriële bloed.

De conclusie uit deze experimenten was, dat het menselijk organisme in staat is een geringe arteriële hypoxemie door een toegenomen zuurstofextractie te corrigeren en dat de onder deze omstandigheden niet veranderde pH van het veneuze bloed een aanwijzing vormt, dat de zuurgraad van de spier mogelijk een der limiterende factoren tijdens spierarbeid is.

2.6 Het breekpunt.

In aansluiting hieraan tot slot nog een korte bespreking van enkele factoren, die een reden kunnen zijn voor het staken van een arbeidsbelasting (het breekpunt). In verband met de specifieke problematiek, die rondom het breekpunt bij onze inspanningsproeven optrad, zal in hoofdstuk 8 op enkele van deze factoren worden teruggekomen.

Het subjectieve gevoel van moeheid is een complex fenomeen, dat slechts ten dele verklaard is. De twee belangrijkste oorzaken voor spiermoeheid zijn stapeling van metabolieten en depletie van glycogeen depots in de contraherende spieren (Hultman en Bergström, 1967). De contractiele elementen in de spiervezel worden hierdoor in hun activiteit geremd. Andere factoren, die een bijdrage leveren tot het subjectieve gevoel van moeheid zijn: hypoglycaemie, hyperthermie, dehydratie en mogelijk sensorische impulsen uit de

contraherende spieren, die als alarmsignaal fungeren.

Het falen van een der onderdelen van het in dit hoofdstuk besproken fysiologisch mechanisme is verantwoordelijk voor de stapeling van metaboliëten. Van deze metaboliëten is het melkzuur, dat bij de anaerobe glycolyse wordt gevormd, de belangrijkste. Zoals reeds uiteen werd gezet, vindt deze vorm van stofwisseling plaats als er voor de stofwisselingsprocessen te weinig zuurstof beschikbaar is.

Meerdere auteurs, o.a. Asmussen (1965) hebben aangetoond, dat het maximale ademminuutvolume bijna altijd het ademminuutvolume, dat gemeten wordt bij de maximale zuurstofopneming, overschrijdt.

Ook voor het cardio-vasculaire apparaat zijn goede argumenten aan te voeren, dat dit bij goed getrainden niet de limiterende factor in de oxygenatie en energieleverantie is. Wyndham e.m. (1969) namen waar, dat de maximale polsfrequentie tijdens arbeid eerder werd bereikt dan de maximale zuurstofopname. Williams (1962) verkreeg voor arbeid in de hitte identieke resultaten ten aanzien van het hartminuutvolume. Ouellet (1969) bevestigde dit bij vier proefpersonen, doch stelde tevens dat na het bereiken van het maximale hartminuutvolume de nog extra opgenomen zuurstof niet meer ten goede kwam aan de arbeid verrichtende spieren, doch geheel voor de energievoorziening van de ademhalingsmusculatuur wordt gebruikt. Riley (1960) ondersteunt deze opvatting. Voor al deze metingen geldt echter het bezwaar, dat wat men meet de resultante is van processen, die zich vóór de meting in de spieren afspelen. Deze "time delay" bemoeilijkt een nauwkeurige interpretatie van de waarnemingen.

Reeds eerder in dit hoofdstuk werd uiteengezet, dat op zeeniveau bij extreem zware arbeid in het algemeen geen daling van de zuurstofspanning in het arteriële bloed wordt vastgesteld. Van groot belang voor de verklaring van de oorzaken bij uitputting zijn de waarnemingen van Holloszy (1967), Tharp (1966), Faulkner (1968), Ekblom (1969), Varnauskas (1966), Andrew (1966), Douglas (1968) en Kayser (1970). Uit deze onderzoeken kan worden geconcludeerd, dat het maximale menselijke prestatievermogen in hoge mate afhankelijk is van de mogelijkheid van de stofwisselende spiercel om zuurstof te extraheren. De hierbij betrokken enzym- en coenzymssystemen zijn waarschijnlijk bij

dit gebeuren van doorslaggevende betekenis.

Het is tenslotte duidelijk, dat psychische factoren het moment van breekpunt in belangrijke mate kunnen bepalen. Deze factoren zijn echter buitengewoon moeilijk in een getal weer te geven. Bink (1970) heeft gesuggereerd, dat de arbeidscapaciteit slechts voor 50% voorspelbaar is uit eenvoudige fysieke gegevens zoals lengte, gewicht en leeftijd. Mentale factoren, zoals wensen en verwachting ten aanzien van een te leveren prestatie kunnen dit percentage tot 80% doen stijgen.

Er werd getracht om met behulp van een aantal ons ter beschikking staande onderzoekstechnieken de verschillende schakels van het in schema I weergegeven mechanisme te bestuderen. Deze zullen in hoofdstuk 3 worden besproken.

Hoofdstuk 3

METHODEN VAN ONDERZOEK

Het mechanisme en de verschillende schakels, die bij lichamelijke arbeid een rol spelen, werden in hoofdstuk 2 uiteen gezet. De verschillende methoden, die inzicht in deze schakels geven, zullen nu worden besproken.

Sinds Knipping in 1929 de Spiro-ergometrie introduceerde, wordt bij arbeidsstudies van deze gecombineerde techniek gebruik gemaakt.

3.1 Spirometrie (fig. 3.1)

Het voor dit onderzoek gebruikte apparaat bestaat uit een gesloten systeem, waarin geschakeld zijn een pomp, die een vermogen heeft van meer dan 200 liter lucht per minuut, twee spirometers, een koolzuurabsorber, een verwarmings- en koelsysteem en een mondstuk met afsluitkraan. Tevens bestaat er een mogelijkheid tot het aansluiten van een gasanalyzer. Het systeem wordt via de afsluitkraan bij het begin van het experiment met lucht gevuld. Ook een van de spirometers bevat dan lucht. Uit de andere spirometer vindt voortdurend een bijmenging van het circuit met zuurstof plaats. Regeling van deze bijmenging geschiedt met een automatische zuurstofstabilisator. De door de proefpersoon gebruikte zuurstof kan op deze wijze worden aangevuld. Het apparaat beschikt over luchtkoeling, waardoor de temperatuur in het circuit constant kan worden gehouden. De ademhalingsbewegingen worden op een voortrollend papier grafisch weergegeven. De proefpersoon, die een klem op de neus heeft, krijgt het mondstuk in de mond en kan op deze wijze vrijelijk in het apparaat ademen.

Bij onze experimenten werd gebruik gemaakt van de Lode Spirograaf D 51. Uit het testrapport van deze spirograaf ontleenden wij de volgende technische gegevens: maximale pomp-capaciteit 305 liter per minuut; totale inhoud van het systeem (bij neergedrukte spirometer klokken) 17;5 liter; maximale hand- en automatische zuurstofstabilisatie capaciteit 12 liter per minuut. Op deze wijze kunnen tijdens arbeid continu het ademvolume, de ademprequentie en de zuurstofopname worden geregistreerd. Behalve deze direct geregistreeerde grootheden is bij arbeidsonderzoekingen het ademminuutvolume een belangrijk criterium. Zowel het ademminuutvolume als het

ademvolume zijn gecorrigeerd op de bij lichaamstemperatuur heersende atmosferische druk en bij verzadiging met waterdamp (BTPS). De zuurstofopname werd gecorrigeerd op 0° C temperatuur en 760 mmHg droog (STPD). In rust kunnen met deze zelfde apparatuur gegevens over de ventilatie capaciteit van de longen worden verkregen. Deze zijn: de vitale capaciteit, de expiratoire één seconde waarde en het maximale ademminuutvolume.

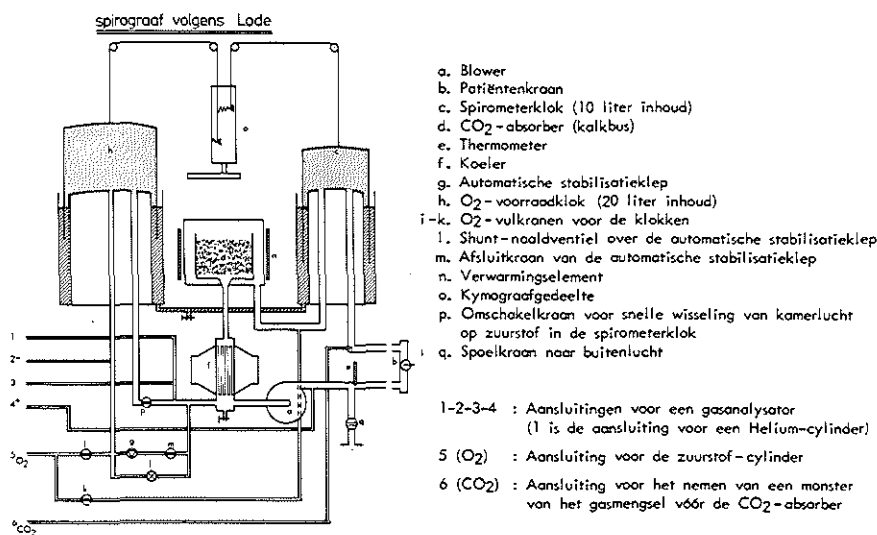


fig. 3.1 Schematische voorstelling van de spirometer.
(type Lode).

3.2 Ergometrie.

Voor het verkrijgen van een trapsgewijs toenemende belasting hadden wij de beschikking over een fietsergometer (type Lode-Ergometer "Lanooy" Modell "Hyperbol/Lineär"). Deze werkt volgens het volgende principe: via een overbrengingssysteem wordt mechanische arbeid, verricht bij het fietsen, omgezet in kinetische energie. Hiermee wordt een koperen schijf draaiende gehouden. Door een wisselend electromagnetisch veld worden tussen de polen van een elektromagneet in een koperen schijf wervelstromen opgewekt, die het draaien van deze koperen schijf in het magneetveld belemmeren. Deze belemmering fungeert als rem. Met behulp van een synchroonmotor wordt bij oplopende belasting een ingebouwde

weerstand verminderd, waardoor de magnetiseringsstroom toeneemt en de wervelstroom krachtiger wordt. Daar de draaisnelheid van de schijf zeer hoog wordt gehouden, wordt het fysisch vermogen van de ergometer niet door de trapfrequentie beïnvloed. Aangezien sneller of langzamer trappen wel fysiologische consequenties heeft, wordt tijdens belasting echter toch gestreefd naar een met behulp van een tachometer geregistreerde frequentie van 60 à 70 omwentelingen per minuut (Bink 1959, Lanooy en Bonjer 1956/1965). Het door de wervelstroom remmende vermogen van de ergometer kan worden uitgedrukt in watts of kpm ($10 \text{ watt} = 1,02 \text{ kpm}$). Ter oriëntatie is het nuttig te weten, dat een vermogen van 1 watt overeen komt met een arbeid van 1 Newtonmeter/sec.

3.3 Andere fysische metingen.

a. Meting van het zuurstofgehalte.

Het zuurstofpercentage in het inspiratoire gedeelte van het spirometercircuit werd tijdens de inspanningsproeven gecontroleerd met een paramagnetische zuurstofanalysator (type Beckman).

b. Meting van het koolzuurgehalte.

Om een indruk te krijgen omtrent het bestaan van een mogelijke alveolaire hypoventilatie werd het koolzuurgehalte van de uitademingslucht gemeten met behulp van een capnograaf (type Lode).

c. Meting van de lichaamstemperatuur.

De meting van de lichaamstemperatuur geschiedde met een elektrische temperatuurmeter (Lameris type T.E.5), die tot 5 à 7 cm diepte rectaal werd ingebracht.

d. Meting van de arteriële bloeddruk en de hartfrequentie.

De arteriële bloeddruk werd onbloedig gemeten volgens Riva Rocci aan de rechter bovenarm. De hartfrequentie werd gedurende 15 sec. aan het hart geteld met behulp van een stethoscoop.

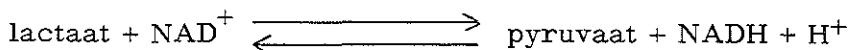
e. Meting van gewicht en lengte.

De wegingen werden uitgevoerd met een balansweegschaal. De deelnemers aan de experimenten waren tijdens deze weging slechts gekleed in een sportbroekje. De wegingen en lengtemetingen vonden kort voor ieder experiment plaats.

3.4 Chemische bepalingen in het bloed.

a. Melkzuur.

De melkzuurbepaling geschiedde met de enzymmethode. In principe berust deze bepaling op het volgende: melkzuur wordt met behulp van het enzym lactaatdehydrogenase omgezet tot pyrodruivenzuur. Het nicotinamide adenine dinucleotide (NAD^+) fungeert als waterstof overdragend co-enzym.



De absorptiespectra van NAD^+ en NADH zijn verschillend. Bij 340 nanometer bezit het NADH een absorptiepiek en het NAD^+ niet. Door het meten bij 340 nanometer kan men de concentratie van het melkzuur in het te onderzoeken monster bepalen. Bij deze methode werd gebruik gemaakt van een testcombinatie van de firma Boehringer. Na het verkrijgen van de bloedmonsters werden deze direct met perchloorzuur onteiwit. De bepalingen werden in duplo uitgevoerd. Het verschil tussen de duplobepalingen bedroeg maximaal 2%.

b. De pH, de Pco_2 en het standaard-bicarbonaat gehalte.

Bij het onderzoek van veranderingen in het zuur-base evenwicht werd gebruik gemaakt van de Astrup micromethode (Siggaard-Andersen, 1964).

Naar analogie van de ervaringen van van Leeuwen en Biersteker (1966) werden tijdens arbeid bloedmonsters genomen uit de dorsale handvene. Beide auteurs hebben aangetoond, dat tijdens arbeid, onder anaerobe condities

afgenomen bloed uit de dorsale handvene, redelijk gearterialiseerd is en gebruikt kan worden voor bepaling van de arteriële pH, P_{CO_2} , standaard-bicarbonaat en het melkzuurgehalte. Van de op deze wijze met een 10 ml. spuit verkregen bloedmonsters werd, behalve voor de Astrup bepaling, een gedeelte van het bloed gereserveerd voor de andere chemische bepalingen. In rust werden de monsters op de door Astrup beschreven wijze via een vingerprik verkregen.

De bepalingen werden binnen twee uur na afname gedaan. Gedurende deze periode werden de onder anaerobe condities gevulde capillairen afgesloten in ijswater van $0^{\circ}C$ bewaard.

c. P_{aO_2} en S_{aO_2} .

Om een indruk te krijgen van de zuurstofspanning en verzadiging tijdens de uitputtingsfase van de belasting werden bij een aantal proefpersonen arteriële bloedmonsters uit de rechter arteria brachialis onderzocht. Hiervoor lag in deze arterie tijdens het experiment een Courmand naald. De zuurstofverzadiging werd gemeten met een hemoreflectometer volgens Brinkman. De zuurstofspanning werd met de Clarke electrode gemeten. De zuurstofbepalingen werden in duplo direct na afname van het bloed verricht.

d. Hemoglobine, hematocriet en totaal eiwit.

Het hemoglobinegehalte werd spectrophotometrisch bepaald volgens de Ferricyanide methode (van Kampen en Zijlstra, 1961).

Voor de bepaling van het hematocriet werd gebruik gemaakt van een micromethode.

Het totale eiwitgehalte werd met behulp van de biureet reactie colorimetrisch bepaald.

Uit de met de hierboven beschreven methodieken verkregen waarnemingen konden een aantal indirecte grootheden worden berekend. Deze zijn:

3.5 Afgeleiden.

a. A d e m e q u i v a l e n t.

Uit de ventilatie in liters per minuut en de zuurstofopname in ml. per minuut werd het ademequivalent berekend.

b. D e m a x i m a l e z u u r s t o f o p n e m i n g .

Hiervoor werd gebruik gemaakt van het Nomogram van Åstrand. Met dit nomogram is het mogelijk uit submaximale metingen het maximale zuurstofopnemende vermogen te schatten. Het onnauwkeurighedspercentage van deze methode bedraagt + 10%. Er behoeft bij de door ons onderzochte leeftijdsgroep geen correctiefactor bij het gebruik van dit nomogram te worden ingevoerd. Gebruik makende van de lineaire relatie tussen de polsfrequentie en de zuurstofopname is het door extrapolatie van de maximale polsfrequentie mogelijk het maximale zuurstofopnemende vermogen te schatten. Om de nauwkeurigheid van het gebruik van het Nomogram van Åstrand te toetsen, werd het maximale zuurstofopnemende vermogen ook op deze wijze bepaald. Asmussen en Moibeck (1959) gebruikten hiervoor de formule:

$$Vo_2(max) = \frac{(Vo_2 submax. - Vo_2 rust) (polsfreq. max. - polsfreq. rust)}{polsfreq. submax. - polsfreq. rust} + Vo_2 rust$$

Deze formule werd ook in deze studie toegepast.

c. D e z u u r s t o f p o l s .

De zuurstofpols wordt weergegeven door het quotient van de zuurstofopname per minuut en de polsfrequentie per minuut.

De zuurstofpols wordt groter door een groter slagvolume van de rechter ventrikel of door een grotere zuurstofopname per slagvolume. Dit laatste vindt plaats, indien het arterio-veneuze zuurstofspanningsverschil in de longcapillairen toeneemt. Het geeft als zodanig een indruk van het rendement van de longdoorbloeding en de mate van cellulaire zuurstofextractie.

d. De Hart Werk Index (HWI).

Om een indruk te krijgen van de trainingsinvloeden op de te verrichten hartarbeid tijdens inspanning werd gebruik gemaakt van de Hart Werk Index. Bij deze door Burger en Harten (1957) geïntroduceerde index wordt gebruik gemaakt van de wetenschap, dat de uitwendige hartarbeid bij benadering wordt weergegeven door het product van hartminuutvolume en de gemiddelde bloeddruk. Het hartminuutvolume wordt benaderd door het product van polsfrequentie en het verschil van de systolische en diastolische bloeddruk. Op theoretische gronden werd aan dit verschil door Burger en Harten nog de term 100 toegevoegd. Door deze index wordt dus weergegeven hoe groot, bij benadering, de arbeid van de linker ventrikel is. De verschillende gegevens die in de HWI zijn ondergebracht, zijn als volgt gerangschikt:

$$HWI = \frac{P (S - D + 100) (S + D)}{2 \times 10^6}$$

P = polsfrequentie/min.

S = systolische bloeddruk

D = diastolische bloeddruk

e. Bruikbaarheid van de afgeleide criteria.

In het algemeen geldt voor de afgeleide parameters als bezwaar, dat ze de resultante zijn van wél direct bepaalde grootheden en als zodanig geen nieuwe informatie bieden. Wij menen, dat het gebruik van het ademequivalent, de HWI, en de zuurstofpols toch verantwoord is, daar zij begrippen als hartarbeid, rendement van ventilatie, longdoorbloeding en zuurstofextractie - zij het dan ook bij benadering - in één getal onder laten brengen. Voor een beoordeling van veranderingen in fysiologische processen hebben deze afgeleide grootheden zonder twijfel nut. In tabel 3.1. is een schematisch overzicht van de verkregen gegevens en hun bepalingwijze weergegeven.

3.6 Statistische bewerking.

Bij de statistische bewerking werden de verschillen tussen de waarnemingen vóór en na training onderworpen aan de toets van Wilcoxon (de Jonge, 1960). De resultaten van 16 roeiers werden vóór en na training gemiddeld: als maat voor de individuele verschillen werd de standaard-deviatie gebruikt. Om de samenhang tussen twee variabelen na te gaan, werd de lineaire correlatiecoëfficiënt berekend. Deze samenhang werd een aantal malen door een regressielijn weergegeven. Er werd pas van significantie gesproken, als de drempelwaarde $P < 0,05$ was.

Tabel 3.1			
ONDERWERP	DIRECTE WAARNEMINGEN	INDIRECTE GEGEVENS	METHODEN
Belastbaarheid	Maximale wattage		Ergometer
Ventilatie	Ademvolume Zuurstofopname Ademhalingsfrequentie Alveolaire koolzuur- gehalte	Ademequivalent Zuurstofpols Ademminuutvolume Maximale zuurstof- opneming	Gesloten Spirometersysteem
Circulatie	Hartfrequentie Bloeddruk	Hartwerkindex	Onbloedige metingen
Hemoconcentratie	Hemoglobine		Ferricyanide methode
	Hematocriet		Micromethode
	Totaal plasma eiwit- gehalte		Biureetreactie
Anaerobiosis	Melkzuurgehalte		Spectrofotometrisch
	Pao ₂ en Sao ₂		Reflectometrische oximetrie en Clark electrode
	pH, Pco ₂ , stand. bicarbonaat		Astrupmethode
Diversen	Gewicht Lengte		Balansweegschaal
	Rectale temperatuur		Thermokoppel

Hoofdstuk 4

PROEFOPZET EN UITVOERING VAN DE PROEVEN

4.1 Proefopzet.

a. Inleiding:

De proefopzet is gebaseerd op drie doelstellingen:

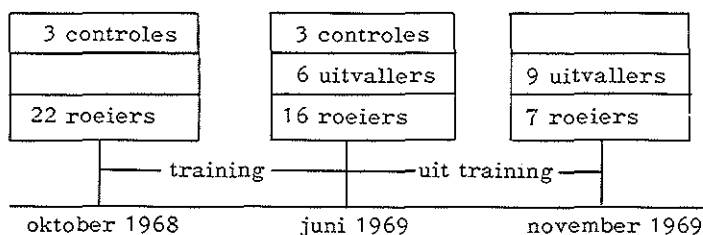
1. de beoordeling van het effect van training.
2. het nagaan van de verschijnselen bij het breekpunt.
3. het bepalen van de waarde van een submaximale inspanningsproef bij het voorspellen van de maximale arbeidscapaciteit op de fietsergometer en de roei-prestatie.

Aan de inspanningsproeven werd deelgenomen door leden van de Rotterdamsche Studenten Roeivereniging "Skadi" en enkele studenten, die hockey, voetbal en wielrennen beoefenden. Drie mannelijke studenten, die niet aan de training deelnamen, onderwierpen zich met een interval van zes maanden eveneens aan de experimenten en fungeerden als controlegroep om de invloed van gewenning aan de onderzoekssituatie na te gaan.

b. Beoordeling van het effect van training:

Aan het eerste onderzoek, dat tussen 1 oktober 1968 en 31 november 1968 plaats vond, namen 22 roeiers deel en aan het tweede onderzoek, dat tussen 1 juni 1969 en 31 juni 1969 werd verricht, namen nog slechts 16 roeiers deel. Deze groep van 16 volgde in de tussenliggende zes maanden een intensieve roeitraining. De zes uitvallers hadden inmiddels wegens studieredenen, rugblessures of te geringe animo de roeitraining gestaakt. In november 1969 konden nog zeven personen van de oorspronkelijke groep voor een derde maal worden onderzocht. Deze groep had op dit moment de roeitraining zes maanden gestaakt, (fig. 4.1). De trainingstoestand was van deze populatie echter niet meer identiek, doordat de zomermaanden op verschillende wijzen waren doorgebracht.

fig. 4.1 Schematische voorstelling van de tijdrelatie der experimenten.



Enkele fysieke en anamnestiche gegevens van de proefpersonen zijn vastgelegd in tabel 4.1. Deze gegevens hebben betrekking op de toestand ten tijde van het eerste onderzoek. De gemiddelde leeftijd van de atleten was 20 jaar (18-25 jr.). Het lichaamsgewicht van deze groep bedroeg gemiddeld 79,4 kg. (67,8 - 97,3 kg.). De gemiddelde lengte was 1,85 m. (1,68 - 1,97 m.). De gemiddelde leeftijd van de controle-groep was 23 jaar (19-26 jr.). Voor het gewicht was de gemiddelde waarde 74,8 kg. (69,2 - 81,6 kg.). De gemiddelde lengte van de controlegroep bedroeg 1,82 m. (1,80 - 1,85 m.).

Nadat een student had besloten in roeitraining te gaan, werden hem geleidelijk meer beperkingen opgelegd. Bij de onderzochte groep was roken tot 1 november en alcoholgebruik tot 7 februari 1969 toegestaan. Na 7 februari werden de raceroeiers geacht vóór half elf naar bed te gaan. Zij kregen adviezen voor het gebruik van een calorierijke en eiwitrijke voeding.

De trainingsschema's waren voor ouderejaars en eerstejaars roeiers niet gelijk, (tabel 4.2). De oefeningen bestonden vóór februari uit conditietraining, krachtraining en boottraining. Deze drie trainingvormen namen dagelijks anderhalf tot twee uur in beslag. De ouderejaars roeiers beoefenden deze onderdelen elk tweemaal per week. De eerstejaars roeiers hadden geen krachtraining, doch in plaats hiervan geen twee, doch vier boottrainingen. Na 1 maart 1969 werden de conditie- en krachtraining vervangen door boottrainingen. Deze werden nadien geleidelijk in duur en intensiteit verzwaaard.

Tabel 4.1

Code	Leeftijd	Gewicht	Lengte	Roken	Vroegere Ziekten	Aantal Roei-jaren	Sport in Competitie Verband
P.J.B.	19 jr.	72,8 kg	1,82 m	-	-	1	zwemmen
J.B.L.	21 jr.	80,0 kg	1,90 m	+	-	1	hockey tennis
E.A.D.	19 jr.	83,0 kg	1,89 m	+	Bronchitis	1	hockey tennis
P.S.	20 jr.	83,0 kg	1,86 m	-	-	1	hockey
M.B.	24 jr.	89,5 kg	1,89 m	+	-	10	hockey
R.J.	18 jr.	82,5 kg	1,86 m	+	-	0	tennis volleybal
W.B.	19 jr.	71,5 kg	1,78 m	-	-	1	hockey tennis
H.P.V.	19 jr.	79,5 kg	1,91 m	+	-	1	hockey
D.J.K.	21 jr.	92,5 kg	1,97 m	-	-	0	hockey
J.M.K.	22 jr.	76,1 kg	1,79 m	+	-	2	voetbal
A.M.H.	21 jr.	75,5 kg	1,75 m	+	-	0	hockey
R.K.	18 jr.	97,3 kg	1,94 m	-	-	0	-
J.B.R.	21 jr.	71,4 kg	1,84 m	-	-	0	zwemmen
A.V.O.	24 jr.	79,0 kg	1,84 m	+	-	2	-
R.P.S.	20 jr.	72,4 kg	1,84 m	-	Rheuma	0	-
P.R.	23 jr.	68,0 kg	1,78 m	-	-	2	athletiek

UITVALLERS

F.B.	20 jr.	80,5 kg	1,92 m	+	-	0	hockey
P.N.	18 jr.	70,4 kg	1,82 m	+	-	0	athletiek
D.E.B.	20 jr.	67,8 kg	1,68 m	+	-	0	hockey
R.H.	19 jr.	78,5 kg	1,74 m	?	?	?	hockey
W.W.	25 jr.	91,2 kg	1,97 m	+	-	2	basketbal
J.H.	21 jr.	82,5 kg	1,92 m	?	Hartgeruis	0	?

CONTROLE GROEP

M.H.V.	26 jr.	71,5 kg	1,80 m	+	-	0	-
D.V.	20 jr.	76,9 kg	1,83 m	-	-	0	volleybal
C.F.	19 jr.	69,2 kg	1,82 m	-	-	0	athletiek

Het zou te ver voeren gedetailleerd op de drie trainingsvormen in te gaan. Kort samengevat werd het bereiken van de basisconditie nagestreefd met duur- en intervaltraining; de krachtraining bestond uit halteroefeningen, de boottraining omvatte zowel lange-afstands- als intervaltraining.

Tabel 4.2

Trainingsschema's

	eerstejaars	ouderejaars
oktober '68/maart '69		
maandag	boottraining	conditietraining
dinsdag	conditie "	kracht "
woensdag	boot "	boot "
donderdag	boot "	conditie "
vrijdag	conditie "	kracht "
zaterdag	boot "	boot "
nà maart '69		
maandag	boottraining	boottraining
dinsdag	"	"
woensdag	"	"
donderdag	"	"
vrijdag	"	"
zaterdag	"	"

Het merendeel van de onderzochte roeiers ging medio oktober 1968 in training. Zij werden allen in de beginfase van het oefenprogramma onderzocht.

De drie studenten, die als controlegroep fungeerden, beoefenden geen regelmatige sport en legden zichzelf geen enkele beperking op.

c. Verschijnselen bij het breekpunt.

Ter beantwoording van de vraag om welke redenen de door ons gebruikte inspanningsproef werd afgebroken, werd nog een groep van tien proefpersonen gevormd. Deze groep kwam in fysieke kenmerken overeen met de groep onderzochte roeiers en verkeerde in een middelmatige trainingstoestand, (tabel 4.3). Allen beoefenden actief sport. Deze groep werd eenmalig onderzocht. De inspanningsproef was identiek aan die welke de onder b. besproken groep werd opgelegd.

Tabel 4.3

Code	Leeftijd	Gewicht	Lengte	Beoefende sport
J.M.K.	22 jr.	92,5 kg	1,88 m	roeien
H.K.	22 jr.	72,8 kg	1,78 m	hockey
J.M.K.	23 jr.	76,0 kg	1,79 m	roeien
E.A.D.	20 jr.	82,5 kg	1,88 m	roeien
D.K.	22 jr.	95,6 kg	1,97 m	roeien
J.Z.	21 jr.	75,8 kg	1,84 m	wielrennen
W.W.	26 jr.	91,0 kg	1,96 m	roeien
S.K.	21 jr.	80,0 kg	1,82 m	voetbal
J.B.	22 jr.	78,3 kg	1,81 m	roeien
W.H.S.	22 jr.	75,0 kg	1,77 m	roeien

d. De waarde van de submaximale inspanningsproef.

1. De submaximale inspanningsproef en het maximale prestatievermogen op de fietsergometer.

Een maximale inspanningsproef eist van de proefpersoon een grote lichamelijke en mentale inzet. Van

de onderzoeker vergt een dergelijk onderzoek bovendien veel tijd. Zoals in hoofdstuk 8 zal worden besproken, is gebleken dat de door ons gebruikte proefopstelling bezwaren heeft voor het opleggen van een maximale inspanningsproef.

Daarom werd nagegaan, of een gedeelte van de trapsgewijs toenemende arbeidsbelasting betrouwbare inlichtingen kon geven ten aanzien van het maximale prestatievermogen op de fietsergometer.

Tevens werd nagegaan, of de onder invloed van training onstane verbetering in de resultaten van de submaximale proef correleerde met de vergroting van het maximale prestatievermogen op de fietsergometer.

Hiervoor werd gebruik gemaakt van de bij de oorspronkelijke groep van 16 raceroeiers, uitgevoerde metingen. De samenstelling hiervan is weergegeven in tabel 4.1.

2. De submaximale inspanningsproef en de te verwachten roeiprestatie.

Nagegaan werd, in hoeverre de met de inspanningsproeven waargenomen trainingseffecten, correleerden met de verbeterde prestaties in de boot. Om technische redenen konden slechts studenten, die reeds over een langere roeiervaring beschikten, bij deze experimenten worden betrokken.

Negen ouderejaars roeiers werden driemaal aan de inspanningsproef onderworpen, en roeiden individueel tevens driemaal een afstand van 1000 meter, (tabel 4.4.). Bij het eerste en het tweede onderzoek was deze groep van negen nog compleet. Bij de derde serie experimenten waren nog slechts zeven roeiers beschikbaar voor de inspanningsproef en nog maar vijf voor de roeiproef. Twee proefpersonen waren onbereikbaar door vakantiewerk, één was opgeroepen voor militaire dienst, en één roeier was wegens ongedisciplineerd gedrag uit de training verwijderd.

De bootproeven vonden met een interval van zes weken tussen februari en mei 1971 onder min of meer gestandariseerde omstandigheden plaats. De prestaties over de 1000 meter werden vergeleken met de resultaten

van de submaximale inspanningsproef. Als criteria voor de roeiprestaties werden gehanteerd de tijd over en het melkzuurgehalte na 1000 meter roeien.

Tabel 4.4

Code	Leeftijd	Gewicht	Lengte	Roei-jaren voordien
L.P.Z.	22 jr.	82,0 kg	1,83 m	2
K.L.	21 jr.	74,7 kg	1,91 m	1
B.S.	21 jr.	81,7 kg	1,91 m	1
D.K.	23 jr.	92,5 kg	1,96 m	2
W.S.	23 jr.	74,0 kg	1,77 m	2
J.B.	23 jr.	79,5 kg	1,81 m	3
P.B.	22 jr.	94,2 kg	1,90 m	1
R.H.	21 jr.	94,3 kg	1,92 m	1
R.K.	21 jr.	102,5 kg	1,98 m	2

4.2 Uitvoering van de proeven.

a. In l e i d i n g :

Alle deelnemers ondergingen voorafgaande aan de inspanningsproef een algemeen lichamelijk onderzoek. Er werd een electrocardiogram in rust gemaakt en een röntgenologisch borstonderzoek uitgevoerd. Bij twaalf deelnemers werd tevens een longfunctie-onderzoek verricht.

De onderzoeken werden omstreeks 10.00 uur 's ochtends of om 15.00 uur 's middags uitgevoerd. Deze tijdsfactor, die om organisatorische redenen niet te voorkomen was, kan bij de experimenten een rol hebben gespeeld. Men denke bijv. aan de water- en zoutuitscheiding gedurende de dag en de invloeden van lichamelijke arbeid en voeding. Om dit probleem zo veel mogelijk te elimineren, verzochten wij degenen, die 's middags werden

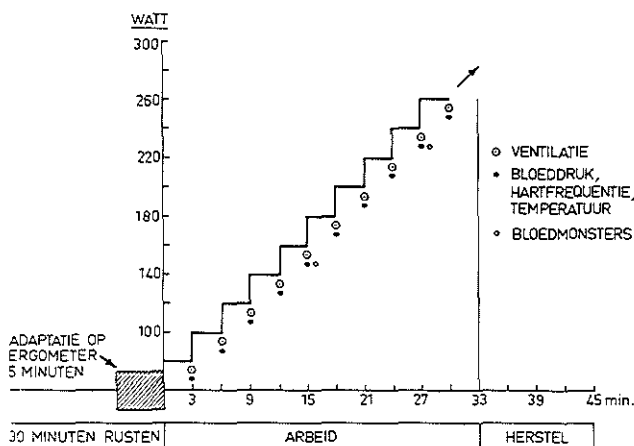
onderzocht gedurende de ochtenduren te rusten en geen zware maaltijden te gebruiken. Na aan deze voorwaarden te hebben voldaan, werd men tot de geselecteerde groepen toegelaten.

Om aan de proefopzet te kunnen beantwoorden, was de proefopstelling voor de drie in paragraaf 4.1 beschreven onderdelen niet dezelfde. Bij de bespreking van de verschillende proeven zal weer de in paragraaf 4.1 gebruikte indeling worden gevolgd.

b. De inspanningsproef:

De deelnemers, bij wie een onderzoek naar trainingseffecten werd gedaan, rustten gedurende 25 minuten voor de aanvang van de proef op een bed. Tijdens deze periode werden de verschillende rustbepalingen uitgevoerd. Bloedafname vond na 10 à 15 minuten plaats. Gedurende de initiële rustperiode werd tevens het doel van het onderzoek uiteengezet en bij alle deelnemers benadrukt, dat gestreefd moest worden naar het bereiken van de individuele uitputtingsgevoelens. De deelnemers waren gekleed in een sportbroekje en mochten desgewenst bij het fietsen gymnastiekschoenen aan hebben. Na 25 minuten werden de deelnemers op de ergometer geplaatst. Gedurende de volgende 5 minuten werden alle aansluitingen voor de

SCHEMA ARBEIDSBELASTING



figuur 4.2. De trapsgewijs toenemende arbeidsbelasting.

gebruikte apparaten aangebracht en de rustwaarden van ventilatie, circulatie en lichaamstemperatuur vastgelegd (figuur 4.2). Vervolgens werden de deelnemers verzocht te gaan fietsen en werd de belasting in enkele seconden van 0 watt tot 80 watt opgevoerd. Daarna werd iedere drie minuten de belasting 20 watt verhoogd. Dertig seconden vóór deze verhoging werden de bloeddruk, de hartfrequentie en de rectale lichaamstemperatuur gemeten. Na 15 minuten lichamelijke inspanning werden behalve deze parameters tevens bloedmonsters verkregen. In iedere derde minuut werden het ademvolume, de ademhalingsfrequentie en de zuurstofopname geregistreerd. Indien echter cyanose of abnormale bleekheid optrad, of de circulatoire waarnemingen hiertoe aanleiding vormden, werd de betrokkene herinnerd aan het verzoek om de hun bekende sensaties van uitputting niet te overschrijden. Desondanks moesten wij toch enkele malen wegens het optreden van cyanose de experimenten afbreken. Op het moment, dat de inspanningsproef vrijwillig of gedwongen werd gestaakt, werden direct weer metingen verricht en bloedmonsters afgenomen. Nadien werd de onderzochte persoon gedurende 12 minuten op de ergometer geobserveerd en werden in deze herstelfase iedere drie minuten nog metingen gedaan. Na 12 minuten werden voor de laatste maal nog bloedmonsters afgenomen. Geen der deelnemers was op de hoogte van het belastingsschema of van de bereikte eigen resultaten.

c. B e o o r d e l i n g v a n h e t e f f e c t v a n t r a i n i n g :

Met de hierboven beschreven inspanningsproef verkregen wij vóór en na training de volgende inlichtingen:

1. iedere drie minuten: ademvolume, ademhalingsfrequentie en zuurstofopname. Verder werden met dit interval gemeten: hartfrequentie, bloeddruk en rectale lichaamstemperatuur.
2. In rust, na 15 minuten arbeid, bij het staken van de arbeid (verder "breekpunt" te noemen) en na 12 minuten herstel werden La , pH, standaard-bicarbonaat, Pco_2 , hemoglobine, hematocriet en metingen van het

totaal plasma eiwitgehalte uitgevoerd.

3. Zoals reeds uiteen werd gezet konden uit 1 en uit 2 enkele indirecte gegevens worden geput.

d. V e r s c h i j n s e l e n b i j h e t b r e e k p u n t :

Bij het bestuderen van de redenen, die aanleiding waren tot het staken van de inspanningsproef, bleef de opbouw van de inspanningsproef ongewijzigd.

Voor het verkrijgen van arteriële bloedmonsters ter bepaling van de bloedgassen bevond zich tijdens de experimenten in de rechter arteria brachialis een Cournand naald.

Afgaande op de klinische toestand van de proefpersoon werden kort voor het te verwachten breekpunt bloedmonsters genomen. Uit dit bloed werden behalve de bloedgassen tevens het La , de pH, de Pco_2 en het standaard-bicarbonaat bepaald.

Bij 160 watt en 220 watt en eveneens kort voor het breekpunt werd het koolzuurgehalte in de uitademingslucht gemeten.

In hoeverre schommelingen in het zuurstofgehalte in de spirometer verantwoordelijk waren voor veranderingen in de samenstelling van de bloedgassen werd nagegaan door dit zuurstofpercentage tijdens de inspanningsproef iedere drie minuten te meten.

e. D e w a a r d e v a n d e s u b m a x i m a l e i n s p a n n i n g s p r o e f :

1. De submaximale inspanningsproef en het maximale prestatievermogen op de fietsergometer.

Als criterium voor een submaximale inspanningsproef werd de trapsgewijs toenemende belasting tot 180 watt genomen. De gemeten criteria in de laatste minuut van de belasting van 160 watt werden gecorrigeerd met de tijd waarin de proefpersoon het breekpunt bereikte. De gekozen criteria waren dezelfde als die welke bij de beoordeling van de trainingseffecten werden gehanteerd.

Bij de bewerking werden tevens de resultaten van van de herhalingsproeven na training betrokken.

2. De submaximale inspanningsproef en de te verwachten roeiprestatie.

Met een interval van zes weken werden de resultaten van de bovenstaande submaximale inspanningsproef vergeleken met de tijd over en het melkzuurgehalte na 1000 meter roeien.

Hiervoor roeiden de proefpersonen individueel, telkens met dezelfde stuurman, onder min of meer identieke omstandigheden in een houten tweepersoons oefenboot (tabel 4.5).

Tabel 4.5

Datum	Windrichting	Windsnelheid	Temp.	Vochtigheid
19/2/1971	Noord	1 $\frac{1}{2}$ - 2 m/sec.	7° C	75%
6/4/1971	West	1 - 1 $\frac{1}{2}$ m/sec.	8° C	86%
10/6/1971	Oost	2 - 3 m/sec.	16° C	91%

De bloedmonsters werden binnen één minuut na het volbrengen van de 1000 meter uit de rechter elleboogsvene verkregen en ter plaatse onteiwit.

De laboratoriumproeven werden 's ochtends en de bootproeven werden 's middags uitgevoerd. Door ongunstige weersomstandigheden moest de derde serie bootproeven een aantal malen worden uitgesteld, en zelfs éénmaal worden herhaald. Hierdoor werd de laatste maal de termijn van zes weken enkele dagen overschreden.

Hoofdstuk 5

HET EFFECT VAN TRAINING

5.1 Inleiding.

Ten aanzien van de veranderingen , die onder invloed van training optreden, is voor de gemeten grootheden telkens gerefereerd naar dezelfde fase in het experiment. Hiertoe werden een tweetal submaximale belastingniveaus, de maximale belasting, alsmede waarnemingen in de herstelfase bij de beoordeling van de trainingseffecten betrokken. De voor vergelijking gebruikte fasen in de arbeidsbelasting zijn:

1. de derde minuut van 160 watt belasting.
2. de derde minuut van 200 watt belasting.
3. maximale belasting, d.w.z. bij het breekpunt.
4. de derde minuut na het staken van de inspanningsproef ("3 minuten herstel").
5. de twaalfde minuut na het staken van de inspanningsproef ("12 minuten herstel").

Ten aanzien van 4 en 5 werden voor "3 en 12 minuten herstel" de resp. dalingspercentages ten opzichte van de resultaten bij het breekpunt berekend. Omdat bij de begeleiding van sporttraining waarde wordt gehecht aan de hartfrequentie in rust, werd deze grootheid eveneens gemeten.

De verschillende fasen van de inspanningsproef hebben hun specifieke bezwaren en bieden ook niet alle dezelfde inlichtingen. Voor de beoordeling van de effecten van training hebben submaximale metingen de meeste waarde, omdat de metingen in deze fase van de inspanningsproef relatief gemakkelijk zijn en deze niet worden beïnvloed door mentale factoren. Voor de metingen bij het breekpunt spelen mentale factoren daarentegen een zeer grote rol. De beoordeling van deze fase van de inspanningsproef wordt bovendien bemoeilijkt, doordat de resultaten bepaald worden door twee effecten van training, namelijk: de toegenomen belastingsduur en de veranderingen van de onderzochte parameters zelf. Ook de herstelfase is in de praktijk een moeilijk beoordeelbare fase gebleken, doordat de observatieperiode slechts voor tien proefpersonen bij beide experimenten 12 minuten bedroeg. De resterende zes deelnemers dreigden bij een van beide onderzoeken in de herstelfase te collabereren, waardoor de observatie moest worden bekort. De te bespreken ventilatoire en circ-

latoire waarnemingen in de herstelfase hebben betrekking op de waarnemingen na "3 en 12 minuten herstel", of op de laatste waarneming vóór de dreigende collaps. Deze gebrekkige standarisatie van de herstelfase maakt de waarnemingen ten aanzien van de ventilatie en de circulatie in de herstelfase minder waardevol. De bloedmonsters voor de chemische bepalingen werden echter alle na 12 minuten afgenomen.

De waarnemingen vóór training zullen in het vervolg worden aangegeven met onderzoek I, de resultaten na 6 maanden training worden aangegeven met onderzoek II, terwijl bevindingen nadat de training 6 maanden was gestaakt zijn ondergebracht in onderzoek III.

De standaarddeviaties (s.d.) bleken van praktisch alle parameters tamelijk groot te zijn. Dit speelt met name voor de longvolumina een belangrijke rol. Grote standaarddeviaties van het ademvolume kunnen veroorzaakt worden door een verschillend ademhalingstype, of door verschillen in lengte en gewicht. Om deze reden werd het ademvolume, uitgaande van de lichaamslengte en het gewicht, tevens gecorrigeerd op $1,95 \text{ m}^2$ lichaamsoppervlakte. De standaarddeviaties bij de metingen van 160 en 200 watt zijn in de figuren weergegeven.

5.2 Metingen van de longventilatie.

Veranderingen in het ademminuutvolume worden òf door vergroting van het ademvolume òf door toeneming van de ademfrequentie gerealiseerd. Gebleken is, dat het ademhalingstype sterk individueel is bepaald en in de onderzochte groep niet door training verandert. Twee voorbeelden van dit verschijnsel zijn in figuur 5.1 weergegeven.

5.2.1. Ademvolume (V_T).

- a. S u b m a x i m a l e b e l a s t i n g: het ademvolume laat tijdens de tragsgewijs toenemende belasting twee fasen in de stijging zien. Er is een initiele stijging, die gevolgd wordt door een min of meer rechte lijnige toename. Het beloop van de V_T is in fig. 5.2 weergegeven. Wanneer de V_T op $1,95 \text{ m}^2$ lichaamsoppervlakte werd gecorrigeerd, waren de standaarddeviaties onveranderd groot.

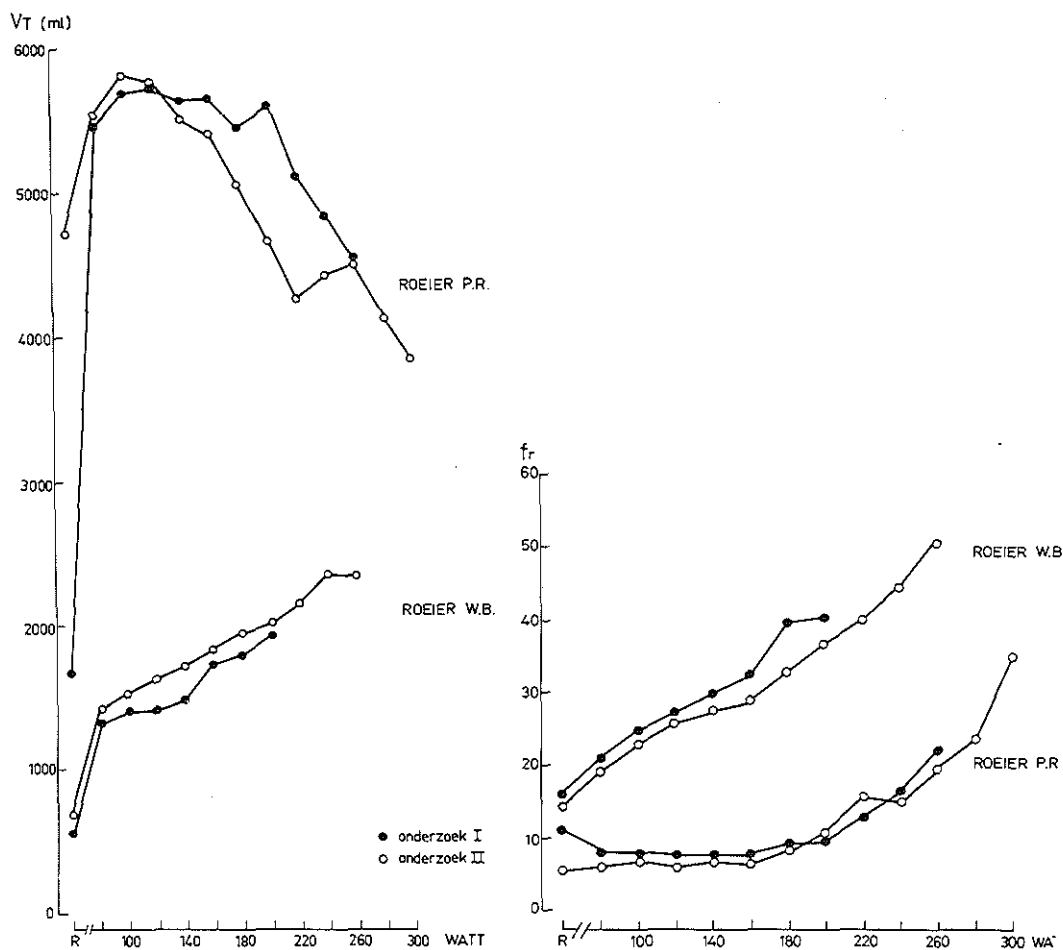


fig. 5.1

Het ademvolume (V_T) en de ademfrequentie (f_r) van de roeiers P.R. en W.B. vóór en na training tijdens de trapsgewijs toenemende belasting. Let op het sterk verschillende ademhalingsstype.

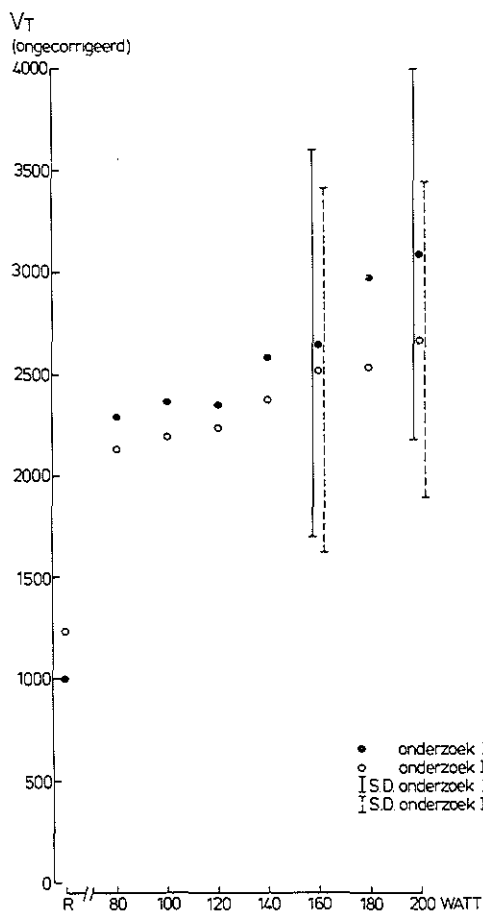


fig. 5.2
het gemiddelde ademvo-
lume (V_T) vóór en na
training tijdens de traps-
gewijs toenemende be-
lasting bij 16 roeiers.

De verschillen tussen onderzoek I en onderzoek II zijn ten aanzien van de V_T niet statistisch significant. Voor 160 watt en 200 watt zijn deze verschillen in tabel 5.1 weergegeven.

tabel 5.1

Het ademvolume (V_T), ongecorrigeerd, vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	deelnemers	onderzoek I V_T s.d.	onderzoek II V_T s.d.	procentuele verschil
160 watt	16	2655 ml + 955	2524 ml + 907	- 5%
200 watt	15	3048 ml + 919	2674 ml + 774	- 13%

- b. M a x i m a l e b e l a s t i n g (V_T breekpunt): De V_T bij het breekpunt is vóór en na training, zowel op 1.95 m² lichaamsoppervlakte gecorrigeerd als ongecorrigeerd niet verschillend.
De V_T (breekpunt) bedraagt ongecorrigeerd in onderzoek I 3066 ml + 653 en in onderzoek II 3143 ml + 471.
- c. D e h e r s t e l f a s e : het dalingspercentage laat na "3 en 12 minuten herstel" geen trainingseffecten zien.

5.2.2 Ademfrequentie (f_r).

- a. S u b m a x i m a l e b e l a s t i n g : de verandering in het patroon van de ademfrequentie is weergegeven in fig. 5.3. Ook nu is er weer een sterk initiële stijging, waarna het stijgingspatroon min of meer rechtlijnig wordt. In onderzoek II blijkt de ademfrequentie minder toe te nemen, dan in onderzoek I.

Evenals voor het ademvolume is het verschil tussen onderzoek I en onderzoek II voor beide submaximale belastingen niet statistisch significant, (tabel 5.2).

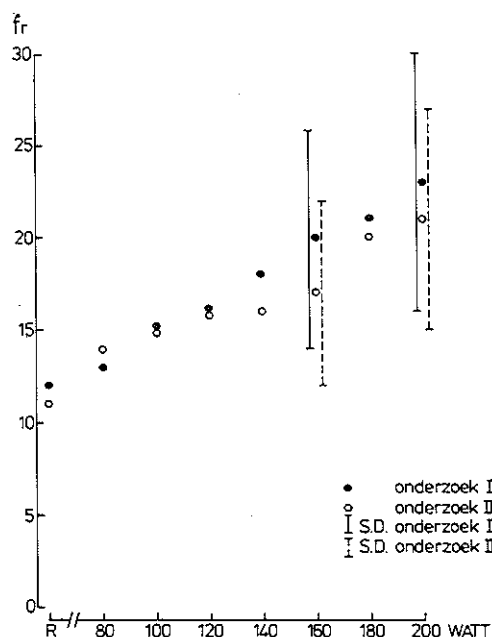


fig. 5.3

De gemiddelde ademfrequentie per minuut (f_r) vóór en na training tijdens de trapsgewijs toenemende belasting bij 16 roeiers.

- b. **M a x i m a l e b e l a s t i n g** (f_r breekpunt): De ademfrequentie bij het breekpunt stijgt na training aanzienlijk. Het verschil tussen onderzoek I en onderzoek II (resp. 29/min. en 35/min.) is statistisch significant, $0,001 < p < 0,01$. Dit verschil bedraagt + 20%. Zoals uit de bespreking van de \bar{V}_E in paragraaf 5.2.3 zal blijken, komt deze stijging van

(tabel 5.2).

De ademfrequentie/min. (f_r) vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	deelnemers	onderzoek I fr s.d.	onderzoek II fr s.d.	procentuele verschil
160 watt	16	20/min. + 5	17/min. + 5	- 15%
200 watt	15	23/min. + 8	21/min. + 6	- 9%

20% overeen met de stijging van de \dot{V}_E (breekpunt).

- c. De herstelfase: het dalingspercentage laat na "3 en 12 minuten herstel" geen trainingseffecten zien.

5.2.3 Ademminuutvolume (\dot{V}_E).

- a. Submaximale belasting: de veranderingen van \dot{V}_E zijn weergegeven in fig. 5.4. In de stijging van \dot{V}_E zijn drie componenten te onderscheiden (fig. 5.5). Onmiddellijk na de aanvang van de belasting is er een snelle vergroting van \dot{V}_E . Deze beginfase wordt gevolgd door een min of meer rechtlijnige vergroting van \dot{V}_E . Wanneer het breekpunt nadert, heeft het stijgingspatroon de tendens progressief steiler te worden. Op de verklaring van deze verschijnselen wordt in de verdere bespreking ingegaan. Alhoewel op een ander niveau verlopend, blijft het stijgingspatroon in onderzoek II hetzelfde.

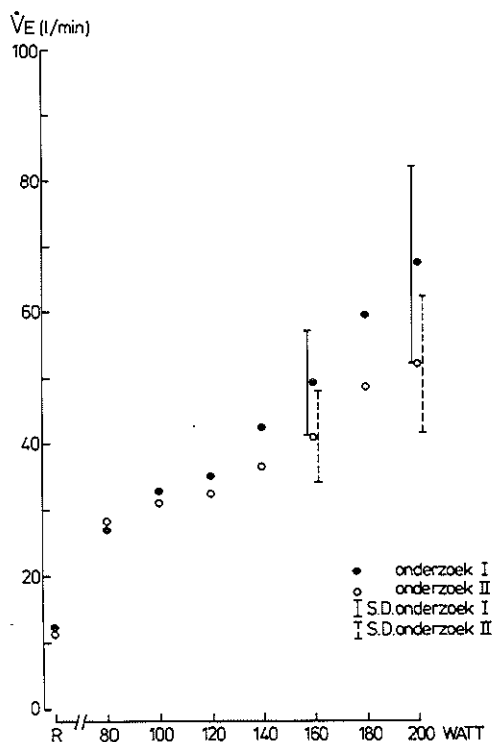
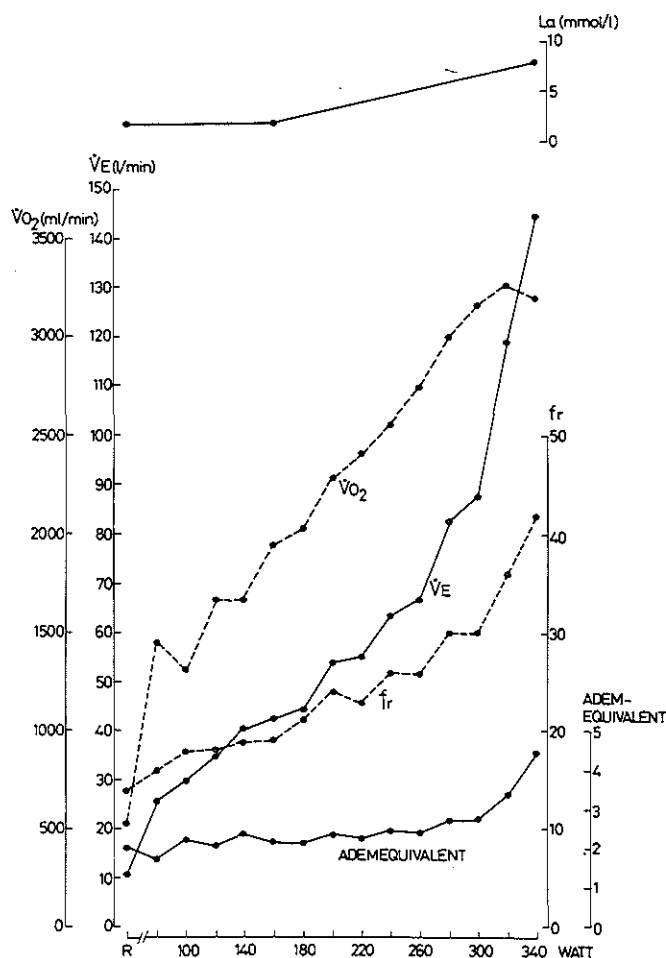


fig. 5.4

Het gemiddelde ademminuutvolume (\dot{V}_E) vóór en na training tijdens de trapsgewijs toenevende belasting bij 16 roeiers.



ROEIER M.B.

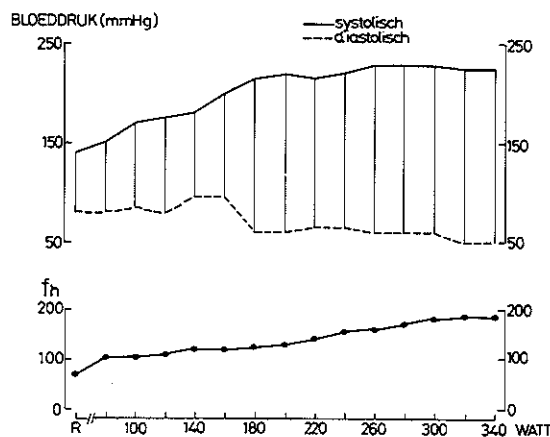


fig. 5.5 Een aantal gemeten ventilatoire en circulatoire grootheden bij roeier M.B. tijdens de trapsgewijs toenemende belasting.

De veranderingen ten aanzien van 160 watt en 200 watt zijn in tabel 5.3 weergegeven. Bij deze submaximale belastingen blijkt \dot{V}_E na training belangrijk en statistisch significant lager te liggen dan vóór training, $0,001 < p < 0,01$.

tabel 5.3

Het ademminuutvolume (\dot{V}_E) vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	Deel-nemers	Onderzoek I \dot{V}_E s.d.	Onderzoek II \dot{V}_E	Procentuele verschil
160 watt	16	49,3 l \pm 7,9	40,9 l \pm 6,4	- 17%**
200 watt	15	67,5 l \pm 15	44,6 l \pm 8,5	- 34%**

** $p < 0,01$

- b. M a x i m a l e b e l a s t i n g : \dot{V}_E (breekpunt) ligt in onderzoek II aanmerkelijk hoger dan in onderzoek I. Deze stijging is statistisch significant, $0,001 < p < 0,01$. (tabel 5.4).

tabel 5.4

Het ademminuutvolume op het breekpunt (\dot{V}_E breekpunt) vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

\dot{V}_E (breekpunt)	roeiers
onderzoek I	87,7 l
onderzoek II	110,3 l
procentuele verschil	+25% **

** $p < 0,01$

- c. D e h e r s t e l f a s e : het dalingspercentage van \dot{V}_E laat na "3 en 12 minuten herstel" geen trainingseffecten zien. Het dalingspercentage na "12 minuten herstel" bedraagt voor onderzoek I en II resp. 85 en 83%.

Bespreking van \dot{V}_E , V_T en f_r .

De toeneming van de belasting van 0 tot 80 watt in de eerste dertig seconden van de proef en de mogelijkheid, dat er hierdoor in de eerste drie minuten geen "steady state" wordt bereikt, zijn de oorzaken van de relatief sterke initiele stijging van \dot{V}_E , V_T en f_r .

Onder invloed van training blijkt \dot{V}_E bij stijgende belasting significant minder toe te nemen. De \dot{V}_E (breekpunt) ligt na training 25% hoger. Alhoewel V_T wel een bijdrage tot deze veranderingen lijkt te geven, is vooral het patroon van de ademfrequentie een afspiegeling van het veranderde \dot{V}_E verloop. Het individuele ademhalingspatroon bleek zich in de onderzochte groep onder invloed van training niet te wijzigen.

Deze waarnemingen komen slechts gedeeltelijk overeen met gegevens uit de literatuur. In een overzichtsartikel van Brouha (1962) wordt gesteld, dat de trainingsfysiologie onder meer gekenmerkt wordt door daling van \dot{V}_E , daling van f_r en een vergroting van de V_T . Dit laatste komt niet overeen met onze waarnemingen. Tabakin (1965) zag bij 9 lange afstandslopers na drie maanden intensieve training geen significante veranderingen in de respiratoire parameters. Deze verrassende waarneming berustte waarschijnlijk op de door Tabakin gevolgde selectie procedure. Bij een ongeoefende groep niet-athleten bleek er zich namelijk onder invloed van training wél een verbetering van de ventilatoire parameters te ontwikkelen. Behalve de samenstelling van de onderzochte groep zijn duur en intensiteit van de training bepalend voor de trainingseffecten. Sinning (1968) nam bij 7 basketbal speelsters na drie maanden training geen verbetering van de respiratoire functies waar. Ook Saltin (1968) zag na twee maanden bij 5 sportlieden geen significante trainingseffecten ten aanzien van \dot{V}_E en f_r . Beide auteurs menen achteraf, dat het trainingsprogramma waaraan de onderzochte proefpersonen werden onderworpen, niet intensief genoeg is geweest.

Onze waarneming, dat \dot{V}_E na training tijdens submaximale belasting lager ligt dan vóór training, is wel in overeenstemming met de resultaten van Douglas (1968) en Andrew (1966). Ook onder pathofysiologische omstandigheden, zoals bij hart- en longpatiënten, treedt dit fenomeen onder invloed van training op (Varnauskas 1968, Pierce en Taylor

1964). De verklaring voor de verminderde mobilisatie van de ventilatoire reserves na training is een verbetering van het ventilatoire rendement door een gelijkmatiger alveolaire ventilatie en een grotere alveolo-capillaire zuurstofgradient, welke door een lager zuurstofgehalte van het veneuze bloed tot stand komt. Tenslotte speelt hierbij tevens een toegenomen nuttig effect van de spierarbeid een rol. De optimale efficiency wordt volgens Brouha (1962) met intensieve training na ongeveer 4 tot 6 weken bereikt.

5.2.4 Zuurstofopname ($\dot{V}O_2$).

- a. S u b m a x i m a l e b e l a s t i n g: na een initiele snelle stijging neemt de $\dot{V}O_2$ rechtlijnig toe (fig. 5.6). Er werd bij de roeiers in onderzoek II bij 160 watt en 200 watt, in vergelijk met beide belastingen in onderzoek I, een geringe doch significante daling van de zuurstofopname vastgesteld, $p = 0,02$ (160 watt) en $0,01 < p < 0,02$ (200 watt).

De resultaten zijn ondergebracht in tabel 5.5.

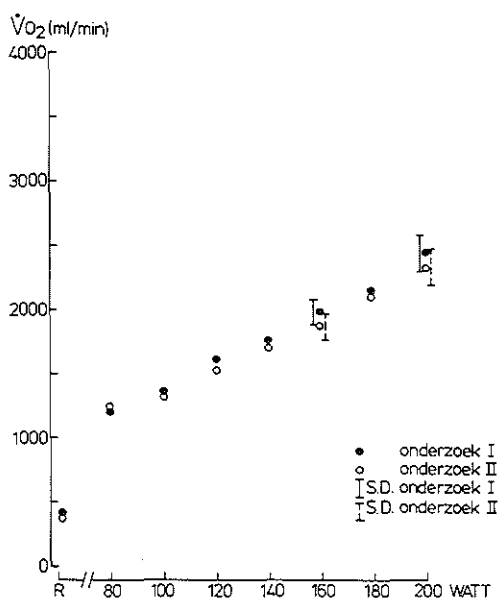


fig. 5.6

De gemiddelde zuurstofopname per minuut ($\dot{V}O_2$) vóór en na training tijdens de trapsgewijs toenemende belasting bij 16 roeiers.

tabel 5.5.

De zuurstofopname in ml per minuut ($\dot{V}O_2$) vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	deel- nemers	Onderzoek I $\dot{V}O_2$ s.d.	Onderzoek II $\dot{V}O_2$ s.d.	procentuele verschil
160 watt	16	1988 ml + 100	1878 ml + 100	- 5% *
200 watt	15	2448 ml + 140	2188 ml + 190	- 10% *

* $p < 0,05$

- b. Maximale belasting: de $\dot{V}O_2$ (breekpunt) is in onderzoek II in vergelijking tot onderzoek I significant toegenomen, $p < 0,01$. De resultaten zijn ondergebracht in tabel 5.6.

tabel 5.6

De zuurstofopname per minuut bij het breekpunt ($\dot{V}O_2$ breekpunt) vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

$\dot{V}O_2$ (breekpunt)	roeiers
onderzoek I	2772 ml + 360
onderzoek II	3239 ml + 440
procentuele verschil	+ 17% **

** $p < 0,01$

De maximale zuurstofopneming bleek zowel berekend met het Nomogram van Åstrand, als met behulp van de extrapolatie methode eveneens statistisch significant te zijn toegenomen, $P < 0,01$. Het verschil tussen beide methoden was gering, tabel 5.7. Voor beide gebruikte methoden bedraagt het verschil tussen onderzoek I en onderzoek II ongeveer 29%.

tabel 5.7

Maximale zuurstofopneming	Onderzoek I	Onderzoek II
m.b.v. Nomogram van Åstrand	3034 ml/min + 570	3912 ml/min + 710
m.b.v. Extrapolatie methode	3010 ml/min + 600	3905 ml/min + 600

- c. De herstelfase: het dalingspercentage van de zuurstofopname in de herstelfase verschilt in beide onderzoeken niet.

Bespreking van de $\dot{V}O_2$ en de maximale zuurstofopneming.

Alhoewel men in de literatuur wijst op de mogelijkheid, dat rendementsverbetering de zuurstofbehoefte op submaximale belastingniveaus doet verminderen, wordt dit in de meeste onderzoeken niet bevestigd, (Sinning 1968, Douglas 1968, Tabakin 1965). Ekblom (1968) en Brouha (1962) namen dit echter wel waar. Ook in de door ons onderzochte groep bleek er bij submaximale belastingen een significant geringere zuurstofbehoefte na training te zijn. Deze bedroeg ongeveer 7%.

Men neemt aan, dat iedere vorm van lichamelijke training een verbetering van het nuttig effect van spierarbeid bewerkstelligt, (Brouha 1962). Deze rendementsverbetering komt tot uitdrukking in een gunstiger verhouding tussen de verrichte uitwendige arbeid en de hiervoor benodigde zuurstof. Zeer zware specifieke arbeid vereist voor rendementsverbetering een specifieke training. Door verbetering van de basisconditie kan de door ons vastgestelde geringere zuurstofbehoefte na training eveneens op verbetering van het nuttig rendement berusten. Theoretisch bestaat echter de mogelijkheid, dat een verloop van het vermogen van de fietsergometer verantwoordelijk is voor de geringere zuurstofbehoefte. Bij regelmatige ijking van de fietsergometer werd dit verloop echter niet vastgesteld.

Het lange interval tussen beide series experimenten pleit tegen gewenning aan de onderzoeksituatie als oorzaak van het verbeterde rendement.

Algemeen wordt aangenomen, dat de maximale zuurstofopneming het belangrijkste criterium is bij het vaststellen van het lichamelijke prestatievermogen. Training doet zowel het lichamelijk prestatievermogen als de maximale zuurstofopneming toenemen. De mate van toename hangt af van de aard en de duur van de gevolgde training. Dit wordt goed weergegeven in het overzicht van de maximale zuurstofopneming van 95 geselecteerde top-sportlieden door

Saltin (1967). De grootste maximale zuurstofopneming bleken crosscountry skieërs te hebben (5,6 l/min.). Een aselechte, ongetrainde groep had daarentegen een maximale zuurstofopneming van 3,1 l/min. (fig. 5.7). Vele auteurs geven, voor de door hen onderzochte populatie, andere waarden voor de maximale zuurstofopneming aan dan Saltin (Knuttgen 1967, Binkhorst 1966, Åstrand 1968, e.a.). Afhankelijk van de intensiteit van de training wordt in de literatuur een toename van de maximale zuurstofopneming van 10 tot 15% gemeld. Ekblom (1969) zag bij jongens van 11 jaar na 32 maanden intensieve training zelfs een toename van 50%.

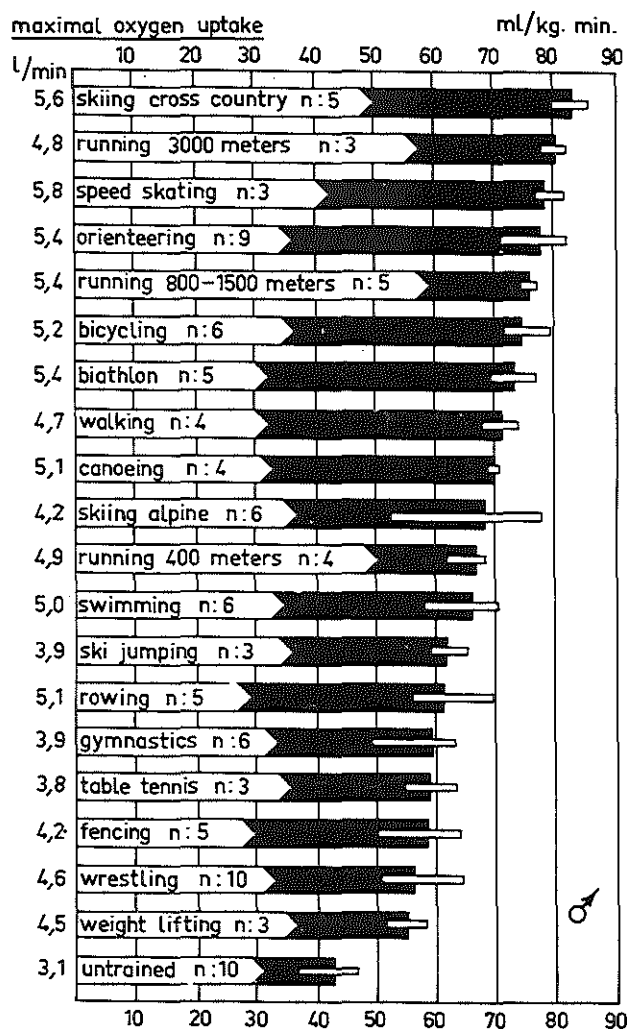


fig. 5.7
De maximale zuurstofopneming bij 95 Zweedse topsportlieden ontleend aan een studie van Saltin (1967).

In de door ons onderzochte groep bedroeg de stijging van de $\dot{V}O_2$ (breekpunt) bijna 17%. Wij beschouwden deze zuurstofopname echter niet als zijnde de maximale zuurstofopneming, omdat niet alle proefpersonen maximaal werden belast. De berekende maximale zuurstofopneming is in onderzoek II ten opzichte van onderzoek I 29% toegenomen. Åstrand (1954) geeft aan, dat bij toepassing van deze indirecte methode rekening moet worden gehouden met een berekeningsfout van 6 tot 10%. De inherent aan de berekeningsmethode geïntroduceerde fout was echter voor beide onderzoeken dezelfde.

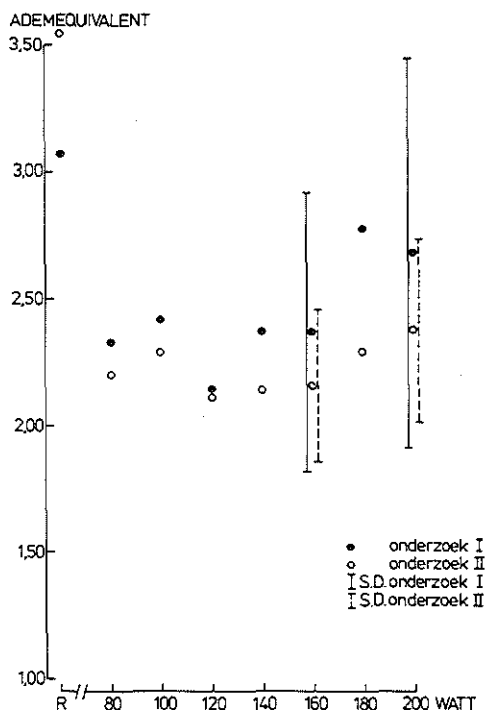


fig. 5.8
Het gemiddelde adem-
equivalent vóór en na
training tijdens de
trapsgewijs toenemen-
de belasting bij 16
roeiers.

5.2.5 Ademequivalent.

- a. Submaximale belasting: uit fig. 5.8 blijkt, dat het ademequivalent in onderzoek II in het algemeen lager ligt dan in onderzoek I. Voor 160 watt en 200 watt zijn deze verschillen echter niet statistisch significant (tabel 5.8).

tabel 5.8

Het ademequivalent vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	Deelnemers	Onderzoek I ademequivalent	Onderzoek II ademequivalent	procentuele verschil
160 watt	16	$2,37 \pm 0,55$	$2,16 \pm 0,30$	- 9%
200 watt	15	$2,68 \pm 0,77$	$2,37 \pm 0,36$	- 11%

- b. **Maximale belasting:** bij alle onderzochte proefpersonen trad er bij zwaardere belastingen een stijging van het ademequivalent op. Vooral bij nadering van het breekpunt was deze stijging aanzienlijk. Een illustratie hiervan geeft fig. 5.5. Het ademequivalent was bij het breekpunt in beide onderzoeken niet significant verschillend. In onderzoek I bedroeg deze parameter $3,08 \pm 0,65$ en in onderzoek II $3,42 \pm 0,62$.
- c. **De herstelfase:** de resultaten van het ademequivalent in de herstelfase hebben voor de beoordeling van het ventilatoire rendement geen grote betekenis. Om deze reden werd dan ook de weergave ervan achterwege gelaten.

Bespreking van het ademequivalent.

In ons materiaal blijkt er bij submaximale belastingen na training geen statistisch significante verbetering van het ventilatoire rendement te zijn. Dit ondanks het feit, dat er wel een significante daling van het ademminuutvolume bij deze belastingen is opgetreden. Deze gaat echter gepaard met verbetering van het mechanisch rendement, waardoor de zuurstofbehoefte voor de onderzochte belastingen eveneens geringer is geworden. Wij menen, dat dit de reden is, dat de kleine verbetering van het ventilatoire rendement in ons materiaal niet significant kon worden aangetoond.

De progressieve stijging van het ademequivalent bij zwaardere belastingen kan zijn veroorzaakt door de zich ontwikkelende metabole acidose. Een tweede mogelijkheid

is echter, dat de ventilatie bij zwaardere belastingen minder efficiënt gaat worden. Op de mogelijke oorzaken hiervan werd in hoofdstuk 2 ingegaan. Het is met behulp van onze gegevens niet mogelijk gebleken uit te maken, welke van de genoemde mogelijkheden de meest waarschijnlijke is. Bij de bespreking van de gebeurtenissen kort voor het breekpunt, die in een der volgende hoofdstukken ter sprake worden gebracht, zullen wij ons van de theoretische mogelijkheid, dat in onze proefopstelling een verandering van het ventilatoire rendement bij zware belastingen een rol heeft gespeeld, uitvoeriger rekenschap geven.

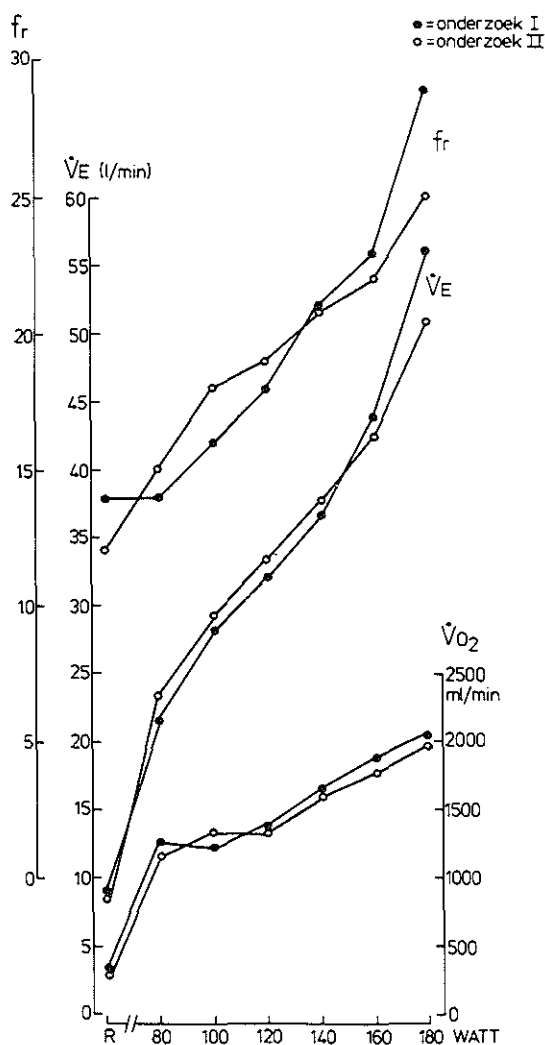


fig. 5.9
Het ademinuutvolume (\dot{V}_E), de ademfrequentie (f_r) en de zuurstofopname (\dot{V}_{O_2}) van 3 niet in training zijnde proefpersonen, tijdens de met een interval van zes maanden uitgevoerde, trapsgewijs toenemende belastingsproef.

Tot slot nog een algemene opmerking met betrekking tot de betrouwbaarheid van de hierboven weergegeven resultaten. Al naar gelang de gebruikte apparatuur en de geoefendheid van het bedieningspersoneel is de nauwkeurigheid van de spirografie groot of klein. Uit de herhalingsproeven bij de drie ongetrainde personen bleek de reproduceerbaarheid van \dot{V}_E en f_r groot te zijn. De \dot{V}_{O_2} laat echter voor belastingen hoger dan 160 watt gemiddeld wel enige variatie zien (fig. 5.9).

5.3 Metingen van de bloedcirculatie.

5.3.1 Hartfrequentie (f_h).

- a. V ó ó r d e b e l a s t i n g: de hartfrequentie laat zowel zittende als liggende vóór en na training geen belangrijk verschil zien (tabel 5.9).

tabel 5.9

De hartfrequentie (f_h) in rust, zowel liggende op een rustbed als zittende op de fietsergometer.

f_h in rust	liggende	zittende
onderzoek I	75/min. \pm 9	75/min. \pm 12
onderzoek II	72/min. \pm 16	78/min. \pm 13

- b. S u b m a x i m a l e b e l a s t i n g: de hartfrequentie stijgt onmiddellijk na de aanvang van de belastingsproef snel. Daarna is de stijging min of meer rechtlijnig, totdat bij zwaardere belastingen een plateau wordt bereikt (fig. 5.5 en 5.10). Dit patroon is onafhankelijk van de trainingstoestand. De veranderingen zijn weergegeven in tabel 5.10. Het blijkt, dat training de hartfrequentie

gedurende een gegeven belasting doet dalen. Deze veranderingen zijn voor beide beoordeelde belastingen statistisch significant, $0,001 < p < 0,01$.

tabel 5.10

De hartfrequentie (f_h) vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	deelnemers	onderzoek I f_h s.d.	onderzoek II f_h s.d.	procentuele verschil
160 watt	16	148/min \pm 18	126/min \pm 14	- 15% **
200 watt	15	170/min \pm 15	144/min \pm 14	- 15% **

** $p < 0,01$

- c. Maximale belasting: de f_h (breekpunt) verandert niet significant. Deze was in onderzoek I 183/min. en in onderzoek II 189/min.
- d. De herstelfase: het dalingspercentage van de f_h liet na "3 minuten en 12 minuten herstel" vóór en na training geen statistisch significant verschil zien.

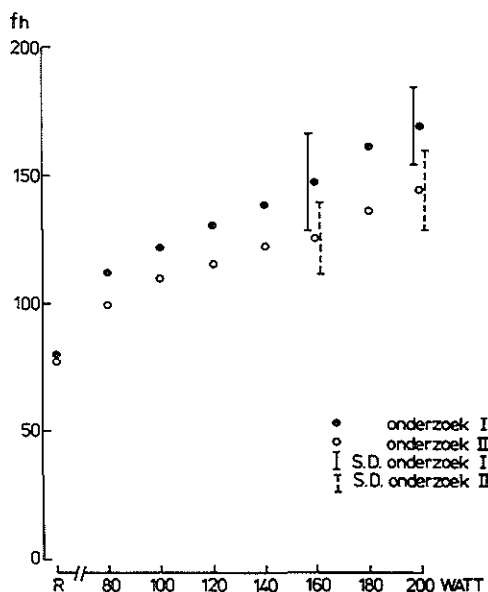


fig. 5.10

De gemiddelde hartfrequentie per minuut (f_h), vóór en na training tijdens de trapsgewijs toenemende belasting bij 16 roeiers.

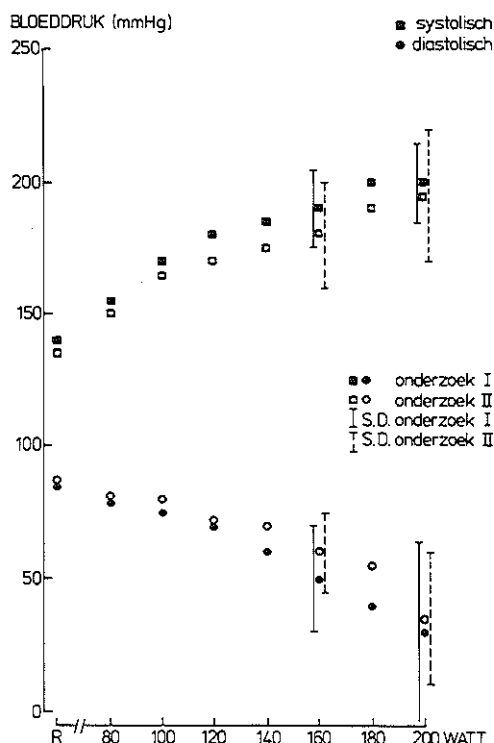


fig. 5.11
De gemiddelde bloed-
druk vóór en na trai-
ning tijdens de traps-
gewijs toenemende
belasting bij 16 roei-
ers.

5.3.2 Arteriële bloeddruk.

- a. *S u b m a x i m a l e* b e l a s t i n g : het beloop van de bloeddruk tijdens de inspanningsproef is weergegeven in fig. 5.5 en 5.11. De standaarddeviaties zijn groot. De algemene tendens is, dat de systolische bloeddruk tijdens deze inspanning aanzienlijk stijgt en de diastolische bloeddruk sterk daalt, en in vele gevallen met de Korotkoff methode zelfs niet meer meetbaar wordt. Uit tabel 5.11 krijgt men de indruk, dat er ten aanzien van de systolische bloeddruk sprake is van een trainingseffect. De geringere stijging van de systolische bloeddruk na training is ten opzichte van onderzoek I echter niet significant.

tabel 5.11

De systolische bloeddruk in mmHg vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	deel- nemers	onderzoek I systolisch s.d.	onderzoek II systolisch s.d.	procentuele verschil
160 watt	16	192 mm \pm 15	182 mm \pm 20	- 5%
200 watt	15	202 mm \pm 17	195 mm \pm 25	- 3%

Verder lijkt het, dat de diastolische bloeddruk na training minder daalt. Voor 160 en 200 watt is deze geringere daling echter eveneens niet significant (tabel 5.12).

tabel 5.12

De diastolische bloeddruk in mmHg vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	deel- nemers	onderzoek I diastolisch	onderzoek II diastolisch	procentuele verschil
160 watt	16	50 mm	62 mm	+ 24%
200 watt	15	28 mm	39 mm	+ 39%

- b. M a x i m a l e b e l a s t i n g : de systolische bloeddruk bij het breekpunt ligt in onderzoek II niet significant hoger dan in onderzoek I. Deze bedraagt in onderzoek I gemiddeld 200 mmHg \pm 20 en in onderzoek II 210 mmHg \pm 15.

Op het breekpunt ligt de diastolische bloeddruk in onderzoek II gemiddeld 21 mmHg lager dan in onderzoek I. Ook deze daling is echter niet significant (tabel 5.13).

tabel 5.13

De diastolische bloeddruk in mmHg bij het breekpunt vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Diastolische bloeddruk bij het breekpunt	roeiers
onderzoek I	28 mm
onderzoek II	7 mm
procentuele verschil	- 72%

- c. De herstelfase: het dalingspercentage van de systolische bloeddruk en het stijgingspercentage van de diastolische bloeddruk zijn na "3 minuten en 12 minuten herstel" niet significant verschillend.

5.3.3 Hart Werk Index (HWI).

- a. Submaximale belasting: de verschillen tussen onderzoek I en onderzoek II ten aanzien van de HWI zijn in tabel 5.14 weergegeven. Bij 160 en 200 watt zijn de verschillen statistisch significant, $0,001 < p < 0,01$.

tabel 5.14

De Hart Werk Index (HWI) vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	deelnemers	onderzoek I HWI s.d.	onderzoek II HWI s.d.	procentuele verschil
160 watt	16	4,2 \pm 0,8	3,4 \pm 0,7	- 19% **
200 watt	15	5,3 \pm 0,9	4,3 \pm 1,0	- 19% **

** $p < 0,01$

- b. Maximale belasting: de HWI (breekpunt) is in onderzoek II hoger dan in onderzoek I. Dit verschil is echter niet significant (tabel 5.15).

tabel 5.15

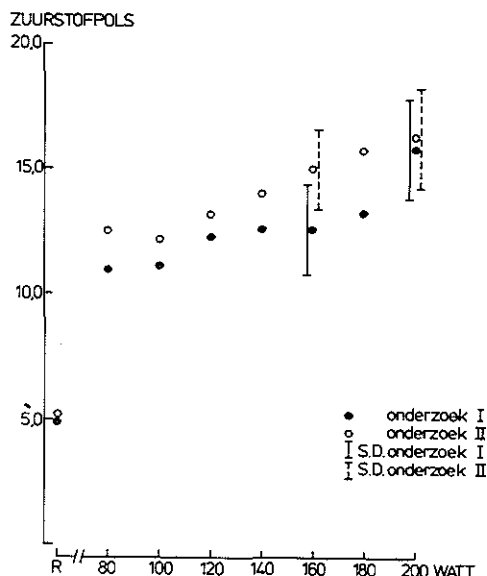
De Hart Werk Index (HWI) bij het breekpunt vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

HWI (breekpunt)	roeiers
onderzoek I	5,8 \pm 0,9
onderzoek II	6,3 \pm 0,9
procentuele verschil	+ 9%

- c. De herstelfase: het dalingspercentage van de HWI is na "3 en 12 minuten herstel" tussen beide onderzoeken niet verschillend.

fig. 5.12

De gemiddelde zuurstofpols vóór en na training tijdens de trapsgewijs toenevende belasting bij 16 roeiers.



5.3.4 Zuurstofpols.

- a. Submaximale belasting: het blijkt, dat in onderzoek II bij submaximale belastingen de zuurstofpols hoger ligt dan in onderzoek I (fig. 5.12). Zowel voor 160 watt als voor 200 watt is dit verschil statistisch significant, $P < 0,01$. De resultaten bij deze belastingen zijn in tabel 5.16 weergegeven.

tabel 5.16

De zuurstofpols vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Belasting	deelnemers	onderzoek I zuurstofpols	onderzoek II zuurstofpols	procentuele verschil
160 watt	16	12,49 ± 1,80	14,95 ± 1,60	+ 20% **
200 watt	15	15,74 ± 2,00	16,42 ± 1,85	+ 4% **

** $p < 0,01$

- b. M a x i m a l e b e l a s t i n g : bij het breekpunt ligt de zuurstofpols in onderzoek II significant hoger dan in onderzoek I, $P < 0,01$. De resultaten van deze parameter zijn in tabel 5.17 ondergebracht.

tabel 5.17

De zuurstofpols bij het breekpunt vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil.

Zuurstofpols bij het breekpunt	roeiers
onderzoek I	15,14 ± 1,98
onderzoek II	17,08 ± 1,86
procentuele verschil	+ 13% **

** $p < 0,01$

- c. D e h e r s t e l f a s e : ten aanzien van de zuurstofpols waren in de herstelfase tussen beide onderzoeken geen significante verschillen.

Bespreking van de circulatoire grootheden.

Om een indruk te kunnen krijgen over de tijdens lichamelijke inspanning verrichte hartarbeid moet men ingelicht zijn over de hartfrequentie, de bloeddruk en het slagvolume van het hart. Daar wij de onderzochte roeiers niet aan bloedige metingen konden onderwerpen, zijn wij niet ingelicht over de trainingseffecten ten aanzien van deze laatste grootheid.

Evenals andere onderzoekers, o.a. Bonjer (1965), is het onze ervaring, dat de meting van de hartfrequentie met de stethoscoop na enige oefening niet moeilijk is. Ten aanzien van de meting van de systolische bloeddruk geldt hetzelfde. Doordat de overgangszône van het zachter worden van de tonen breed en zeer geleidelijk verloopt en er spontane vaattonen ontstaan, is het veel moeilijker de diastolische bloeddruk betrouwbaar te meten. Dit probleem is reeds langer in de arbeidsfysiologische literatuur onderkend (Deenstra 1969 en Bonjer 1965). Door Docter (1970) werden bij intra-arteriële bloeddrukmetingen tijdens lage belastingen, in vergelijk met de onbloedige methode, hogere

systolische en geen sterk verschillende diastolische waarden geregistreerd. De met de auscultatoire methode bij zware belastingen waargenomen sterke dalingen van de diastolische bloeddruk werden met de intra-arteriële meting echter niet bevestigd. Åstrand (1965) kon met intra-arteriële metingen deze sterke verlaging van de diastolische druk evenmin bevestigen. Kotte (1944) vond, dat in rust intra-arteriële metingen de uitwendig gemeten systolische bloeddruk goed benaderden, doch dat de diastolische bloeddruk onbloedig gemeten hoger is dan wanneer deze intra-arterieel wordt gemeten.

De conclusie moet zijn, dat men aan de via indirecte methoden berekende uitwendige hartarbeid een beperkte waarde moet hechten. Alhoewel vrijwel niet door de diastolische bloeddruk beïnvloed, is hierdoor ook de Hart Werk Index een controversieel criterium.

Omtrent de veranderingen, die onder invloed van training ten aanzien van het hartminuutvolume plaatsvinden, zijn in de literatuur meerdere mededelingen gedaan. Andrew (1966) nam waar, dat zowel atleten als niet-atleten na training voor een gegeven belasting een kleiner hartminuutvolume nodig hadden. Deze vermindering was echter niet voor alle belastingniveaus significant. Tevens bleek, dat het slagvolume geen wijziging onderging, doch dat het kleinere hartminuutvolume veroorzaakt werd door een daling van de hartfrequentie. Tabakin (1964) vond daarentegen bij 9 crosscountry atleten, dat de verlaging van het hartminuutvolume bij submaximale belasting na training door een verkleining van het slagvolume en slechts in geringe mate door daling van de hartfrequentie werd veroorzaakt. Tabakin nam geen belangrijke veranderingen van de systolische of diastolische bloeddruk waar. Ekblom (1968) bevestigde, dat op submaximale belastingniveaus het hartminuutvolume na training daalt. Tevens nam hij waar, dat bij zwaardere belastingen het verkregen maximale hartminuutvolume 8% toenam. Bij submaximale belastingen bleef het slagvolume onveranderd, doch het slagvolume van het maximale hartminuutvolume nam ongeveer 14% toe. Daar in het laatste geval de hartfrequentie nauwelijks veranderde, nam Ekblom aan, dat de stijging van het maximale hartminuutvolume berustte op een groter slagvolume. Een belangrijke bevinding bij hetzelfde onderzoek was het feit, dat de toename van de maximale zuurstofopname

niet volledig door het vergrote hartminuutvolume werd veroorzaakt, doch tevens berustte op een groter arterio-veneus zuurstofspanningsverschil in de longcapillairen. Saltin (1968) had voor de door hem waargenomen veranderingen van het maximale hartminuutvolume na training dezelfde verklaring. Ekblom gaf in zijn onderzoek tevens een verklaring voor de lagere submaximale hartfrequenties na training. Deze daling werd veroorzaakt door vermindering van de zuurstofbehoefte, berustende op verbetering van het mechanisch rendement, een toegenomen cellulaire zuurstofextractie en een onder invloed van training verbeterde verdeling van het hartminuutvolume over de actieve orgaansystemen. Meting van het hartminuutvolume bij 4 hockeyspelers door Douglas (1968) bevestigde eveneens, dat na training tijdens submaximale belastingen het hartminuutvolume kleiner is. Ook bij deze experimenten veranderden de slagvolumina nauwelijks en daar deze daling relatief sterker was dan de daling in zuurstofopname, moet men ook hieruit concluderen, dat er na training een toegenomen zuurstofextractie plaats vindt. De in deze studie waargenomen toeneming van de maximaal leverbare uitwendige arbeid bedroeg 10 tot 18%. Dit percentage werd niet gedekt door stijging van de maximale zuurstofopneming of het maximale hartminuutvolume. Daar op submaximale belastingniveaus het hartminuutvolume na training daalde, is het mogelijk, dat de maximaal leverbare uitwendige arbeid toeneemt zonder stijging van het maximale hartminuutvolume.

Tenslotte nog een enkel woord met betrekking tot de zuurstofpols. Meerdere van de geciteerde auteurs namen na training een vergroting van het arterio-veneuzе verschil in zuurstofgehalte waar (Ekblom, Andrew en Douglas e.a.). Aan de drie factoren, die hier waarschijnlijk voor verantwoordelijk zijn werd in het bovenstaande reeds aandacht geschonken. De onder invloed van training versterkte zuurstofextractie door spiercellen lijkt hiervan de belangrijkste te zijn. Holloszy (1967) heeft bij ratten waargenomen, dat training resulteerde in een sterke toename van de bij de oxidatieve phosphorylering betrokken zijnde enzymsystemen, zoals bijv. het DPNH dehydrogenase. Ook Faulkner (1968) heeft gewezen op de waarschijnlijkheid, dat trainingseffecten zich voornamelijk op cellulair niveau afspelen. Het toegenomen arterio-veneuzе verschil in zuurstofgehalte door vollediger zuurstofextractie in de periferie, resulteert in een grotere zuurstofopname

per slagvolume. Dit wordt voor de verschillende arbeidsniveaus na training weerspiegeld door een stijging van de zuurstofpols.

In hoeverre komen de door ons waargenomen veranderingen met deze literatuurgegevens overeen? Bij de door ons onderzochte groep daalt na training de HWI voor submaximale belastingen, hetgeen suggereert, dat na training de te verrichten uitwendige hartarbeid voor een gegeven submaximale belasting geringer is. In ons materiaal kwam dit voornamelijk tot stand dankzij een daling van de hartfrequentie. De daling van de hartfrequentie bij 160 en 200 watt (15%) komt redelijk overeen met de daling van de HWI. Deze bedraagt voor dezelfde belastingen 19%.

Evenals Tabakin konden ook wij geen significante trainingseffecten ten aanzien van de systolische en diastolische bloeddruk vaststellen. Onze waarnemingen en die van Tabakin zijn in tegenspraak met die van Ekblom (1968), die intra-arterieel na training zowel hogere systolische als diastolische bloeddrukken mat.

Bij onze metingen werd in de herstelfase na training geen snellere terugkeer van de bloeddruk naar de rustwaarde gezien. Opvallend was ook, dat wij ten aanzien van de hartfrequentie in rust en de vertraging van de hartfrequentie in de herstelfase geen trainingseffecten konden vaststellen. Ook met betrekking tot de hartfrequentie en de bloeddruk bij het breekpunt kon niet van een significant trainingseffect worden gesproken.

Samenvattende lijkt de conclusie gewettigd, dat op submaximale belastingniveaus zowel de zuurstofbehoefte minder is, als ook voor het transport van deze zuurstof een geringere mobilisatie van circulatoire reserves vereist is. Op grond van gegevens uit de literatuur zijn hier resp. vergroting van het nuttig effect van spierarbeid en een toegenomen cellulaire zuurstofextractie in combinatie met een verbeterde verdeling van het circulerend bloedvolume voor verantwoordelijk.

5.4 Het melkzuurgehalte en de veranderingen in de parameters van het zuur-base evenwicht.

5.4.1 Melkzuurgehalte (La), (fig. 5.13)

- a. S u b m a x i m a l e b e l a s t i n g : bij 160 watt ligt het melkzuurgehalte na training significant lager dan vóór training, $P < 0,01$. De gemiddelde uitgangswaarde vóór de belastingsproef was in onderzoek I $1,3 \text{ mmol/l} \pm 0,2$ en in onderzoek II $1,2 \text{ mmol/l} \pm 0,3$, (tabel 5.18).
- b. M a x i m a l e b e l a s t i n g : in onderzoek II is het melkzuurgehalte op het breekpunt hoger dan in onderzoek I, doch dit verschil is niet significant, (tabel 5.19).
- c. D e h e r s t e l f a s e : na "12 minuten herstel" blijkt na training de eliminatie van het melkzuur sneller te zijn, dan vóór training, $P < 0,01$. Deze eliminatie van melkzuur uit het bloed is weergegeven in tabel 5.20.

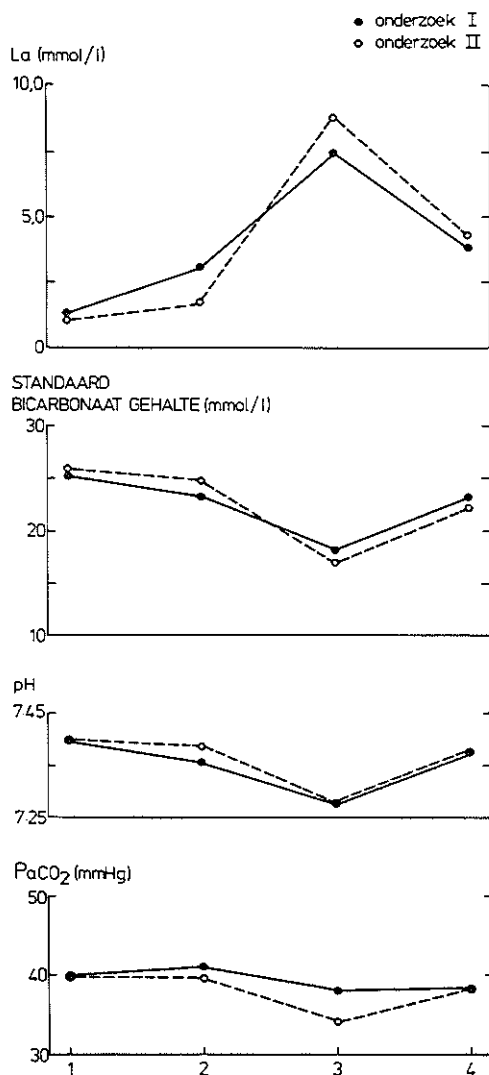


fig. 5.13

Het gemiddelde melkzuurgehalte (L_a), de pH, de P_{CO_2} en het standaardbicarbonaatgehalte vóór en na training tijdens de trapsgewijs toenemende belasting bij 16 roeiers.

tabel 5.18

Het melkzuurgehalte (La), de pH, de P_{O_2} en het standaard bicarbonaatgehalte vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en de procentuele verschillen bij 16 roeiers.

	Onderzoek I				Onderzoek II				Procentuele verschil tussen onderzoek I en II bij 160 Watt
	Rust	s.d.	160 Watt	s.d.	Rust	s.d.	160 Watt	s.d.	
La	1,3 mmol/l	$\pm 0,2$	3,1 mmol/l	$\pm 1,1$	1,2 mmol/l	$\pm 0,3$	1,7 mmol/l	$\pm 0,8$	- 44% **
pH	7,41	$\pm 0,02$	7,36	$\pm 0,02$	7,41	$\pm 0,02$	7,39	$\pm 0,02$	
P_{CO_2}	40 mmHg	± 5	41 mmHg	± 6	40 mmHg	± 3	40 mmHg	± 4	- 2,4 %
Standaard bicarbonaat	25,0 mmol/l	$\pm 1,3$	23,2 mmol/l	$\pm 1,4$	25,4 mmol/l	$\pm 0,8$	24,6 mmol/l	$\pm 1,2$	+ 6,0 %

** $p < 0,01$

tabel 5.19

Het melkzuurgehalte (La), de pH, de Pco_2 en het standaard bicarbonaatgehalte vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) bij het breekpunt en de procentuele verschillen.

Breekpunt	onderzoek I s.d.	onderzoek II s.d.	procentuele verschillen
La	7,4 mmol/l \pm 2,7	8,8 mmol/l \pm 2,4	+ 18%
pH	7,28 \pm 0,06	7,28 \pm 0,06	—
Pco_2	38 mmHg \pm 8	34 mmHg \pm 4	- 10%
standaard bicarb.	18,1 mmol/l \pm 2,2	17,2 mmol/l \pm 2,2	- 5%

5.4.2 pH.

- Submaximale belasting: (tabel 5.18) de pH is bij 160 watt in onderzoek I lager dan in onderzoek II, $0,01 < P < 0,02$.
- Maximale belasting: (tabel 5.19) de pH(breekpunt) is in beide onderzoeken gelijk.
- De herstelfase: (tabel 5.20) ook de stijging van de pH in de herstelfase laat tussen de beide onderzoeken geen verschil zien.

5.4.3 Pco_2 .

- Submaximale belasting: (tabel 5.18) bij 160 watt is de Pco_2 in beide onderzoeken gelijk.
- Maximale belasting: (tabel 5.19) op het breekpunt is in onderzoek II de Pco_2 lager dan in onderzoek I, doch dit verschil is niet statistisch significant.
- De herstelfase: (tabel 5.20) de Pco_2 is na "12 minuten herstel" in beide onderzoeken gelijk.

5.4.4 Standaard bicarbonaatgehalte, (tabellen 5.18, 5.19, 5.20).

Geen der drie fasen in de belasting laat ten aanzien van dit criterium verschillen tussen beide onderzoeken zien.

tabel 5.20

Het melkzuurgehalte (La), de pH, de Pco_2 en het standaard bicarbonaatgehalte na "12 minuten herstel" vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en de procentuele veranderingen ten opzichte van het breekpunt.

herstel	onderzoek I	onderzoek II	procentuele veranderingen t.o.v. het breekpunt	
			onderz. I	onderz. II
La	3,9 mmol/l	4,2 mmol/l	- 47%	- 53%
pH	7,38	7,38	—	—
Pco_2	38 mmHg	38 mmHg	géén	+ 11%
standaard bicarb.	22,7 mmol/l	22,5 mmol/l	+ 25%	+ 31%

Bespreking van de La , pH, Pco_2 en het standaard bicarbonaatgehalte.

De geringere daling van de pH en de lagere La tijdens onderzoek II bij 160 watt wijzen op een geringere anaerobiosis. De energievoorziening van de arbeidende spieren geschiedt dus meer via aerobe processen. Dat de hogere pH op submaximaal belastingsniveau niet tot stand komt door een sterkere respiratoire correctie blijkt uit de onveranderde Pco_2 . Alhoewel dit statistisch niet significant was, wordt de indruk gevestigd, dat deze efficiëntere respiratoire correctie wel een rol speelt bij maximale belasting. Uit het hogere dalingspercentage van het melkzuur in de herstelfase blijkt, dat na training de gevormde metabolieten sneller uit het bloed worden verwijderd. De trainingstoestand lijkt dus zowel bij de productie als bij de eliminatie van melkzuur een rol te spelen.

Lichamelijke training resulteert in een toegenomen capillarisatie van actieve spiergroepen, die hierdoor tijdens lichamelijke inspanning beter doorbloed worden. Dit is reeds

door Petrén in 1936 in dierexperimenten aangetoond. Deze toegenomen capillarisation gaat gepaard met aanpassingen van de bij de oxidatieve processen betrokken zijnde enzymesystemen. Tenslotte worden ook de zuurstofdepôts, zoals bijvoorbeeld in de vorm van myoglobine, groter (Brouha 1962). Dit alles, gevoegd bij de verminderde zuurstofbehoefte door verbetering van het nuttig effect van spierarbeid, is verantwoordelijk voor de geringere anaerobiosis.

De productie van melkzuur legt een wissel op de bufferende mechanismen in het bloed. Als een der uitingen hiervan ziet men het standaard bicarbonaatgehalte tijdens lichamelijke inspanning dalen. Dit trad tijdens de inspanningsproeven ook bij de door ons onderzochte groep op. De meting van het standaard bicarbonaatgehalte tijdens lichamelijke inspanning is belangrijk, omdat deze een redelijk nauwkeurige afspiegeling is van de verzuring ten gevolge van de melkzuurproductie, (Kroon 1959). Ook in onze metingen komt het aantal mmolen melkzuurstijging precies overeen met het aantal mmolen daling van het standaard bicarbonaatgehalte.

Het melkzuurgehalte, dat bij extreem zware inspanningsproeven kan worden gemeten, wordt door verschillende auteurs niet in dezelfde orde van grootte bevonden. Saltin (1968) zag na training bij vijf proefpersonen een hoogste melkzuurgehalte in het arteriële bloed van 10,1 mmol/l. Knehr (1941) registreerde tijdens maximale inspanningsproeven uit capillair bloed een melkzuurgehalte van 15,0 mmol/l. Saltin nam bij zijn experimenten waar, dat kort na het staken van de inspanningsproef het melkzuurgehalte nog verder steeg.

De metabole acidose tijdens lichamelijke inspanning werd eveneens bestudeerd door Doll (1966). In een vergelijkend onderzoek tussen getrainden en ongetrainden nam hij waar, dat in de tweede categorie de pH in het arteriële bloed sneller en sterker daalde. Dit was met het standaard bicarbonaatgehalte eveneens het geval. Ook nam Doll waar, dat direct na het staken van de lichamelijke inspanning het melkzuurgehalte nog bleef stijgen. Mogelijk dat het door Diamant (1968) vastgestelde aanzienlijke verschil tussen het melkzuurgehalte in de weefsels en in het capillaire bloed hiervoor een verklaring is. Diamant vond bij maximale inspanningsproeven in de arbeidende spieren een melkzuurgehalte van ongeveer 17,9 mmol/l, terwijl deze waarde op het-

zelfde moment in capillair bloed 11,2 mmol/l bedroeg. Waarschijnlijk verplaatst dit hogere melkzuurgehalte zich in de herstelfase naar de grote circulatie.

Trainingseffecten ten aanzien van de stijging van het melkzuurgehalte werden eveneens door Juchems (1968) en door Biersteker en van Leeuwen (1966) waargenomen. Juchems nam bij een toenemende belasting in getrainde toestand een geringere stijging van het melkzuurgehalte waar. Biersteker en van Leeuwen zagen tijdens voorbereidingen voor de pre-olympische spelen in Mexico City bij de Nederlandse afvaardiging, gedurende het trainingsprogramma en de adaptatieperiode aan de gewijzigde atmosferische omstandigheden, bij herhaalde experimenten het melkzuurgehalte bij het breekpunt ongeveer 30% stijgen tot een gemiddelde waarde van ongeveer 8,8 mmol/l. Ook bij onze experimenten lag na training het La (breekpunt) hoger dan vóór training.

Samenvattende blijkt uit de resultaten van ons onderzoek en de gegevens uit de literatuur, dat het getrainde individu tijdens het verrichten van lichamelijke inspanning minder neigt tot het ontwikkelen van een metabole acidose en deze intensiever respiratoir kan corrigeren. Bovendien lijkt hij in staat te zijn de opgelegde belasting na training tot een hoger melkzuurgehalte in het bloed vol te houden, hetgeen pleit voor een grotere mentale hardheid. De waarneming van Biersteker en van Leeuwen is in dit opzicht bijzonder overtuigend.

5.5 Veranderingen van het hemoglobine, het hematocriet en het totale eiwitgehalte (fig. 5.14).

- a. V ó ó r d e b e l a s t i n g : het hemoglobine in onderzoek II is in rust 8,9 mmol/l en in onderzoek I in rust gemiddeld 9,2 mmol/l. Dit wil zeggen, dat het hemoglobinegehalte voor de gehele onderzochte groep na training 3,4% lager ligt. De daling van het hematocriet houdt hiermede praktisch gelijke tred, namelijk 2,5%. Voor beide was deze daling echter statistisch niet significant. Het totale eiwitgehalte in het plasma was in rust vóór en na training niet verschillend.

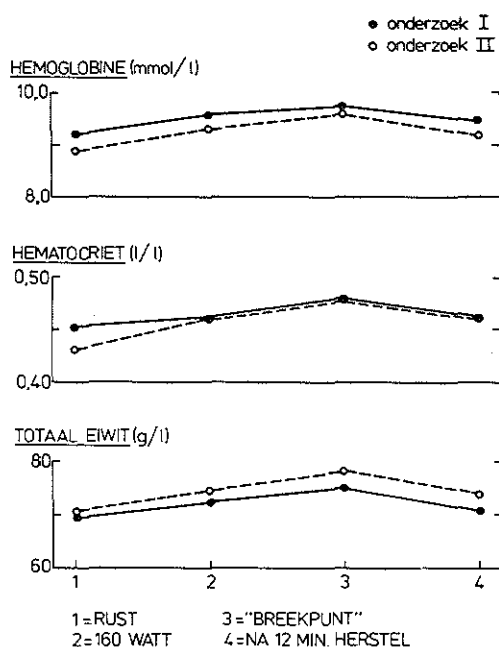


fig. 5.14

Het gemiddelde hemoglobinegehalte, hematocriet en totale eiwitgehalte vóór en na training tijdens de trapsgewijs toenemende belasting bij 16 roeiers.

- b. **Submaximale belasting:** (tabel 5.21) procentueel zijn de verschillen tussen de waarde bij 160 watt en de rustwaarden van de drie parameters na training groter dan vóór training. Voor de drie onderzochte criteria blijken de grotere verschillen echter niet statistisch significant te zijn.

tabel 5.21

Het hemoglobinegehalte, het hematocriet en het totale plasma eiwitgehalte vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en de procentuele verschillen tussen 160 watt en de rustwaarden.

hemoglobine	onderzoek I s.d.	onderzoek II s.d.
rust	9,19 mmol/l \pm 0,37	8,88 mmol/l \pm 0,43
160 watt	9,56 mmol/l \pm 0,43	9,31 mmol/l \pm 0,18
procentuele verschil	+ 4%	+ 5%
hematocriet		
rust	0,44 l/l \pm 0,02	0,44 l/l \pm 0,02
160 watt	0,46 l/l \pm 0,02	0,46 l/l \pm 0,02
procentuele verschil	+ 4%	+ 4%
totale eiwitgehalte		
rust	69,7 gr/l \pm 5	69,9 gr/l \pm 6
160 watt	72,8 gr/l \pm 6	74,6 gr/l \pm 3
procentuele verschil	+ 4%	+ 7%

- c. **Maximale belasting:** na training is bij het breekpunt de stijging van het hemoglobine, het hematocriet en het totale eiwitgehalte ten opzichte van de rustwaarden groter dan voor training, (tabel 5.22). Hierbij moet echter worden aangetekend, dat de arbeid in onderzoek II aanzienlijk langer wordt volgehouden.

tabel 5.22

Het hemoglobine, het hematocriet en het totale eiwitgehalte bij het breekpunt vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) en het procentuele verschil ten opzichte van de waarden in rust.

breekpunt	onderzoek I s.d.	onderzoek II s.d.
hemoglobine procentuele verschil t.o.v. rust	9,75 mmol/l \pm 0,4 + 6%	9,68 mmol/l \pm 0,5 + 9%
hematocriet procentuele verschil t.o.v. rust	0,48 l/l \pm 0,02 + 8%	0,48 l/l \pm 0 + 11%
totale eiwitgehalte procentuele verschil t.o.v. rust	75,5 gr/l \pm 5,2 + 8%	78,2 gr/l \pm 3,5 + 12%

- d. **De herstelfase:** de procentuele veranderingen van de drie onderzochte parameters lieten in de herstelfase ten opzichte van het breekpunt geen significante verschillen tussen onderzoek I en onderzoek II zien.

Bespreking van het hemoglobinegehalte, het hematocriet en het totale eiwitgehalte.

Door een grotere hydrostatische druk in de capillairen treedt in de contraherende spieren uittreding op van water (Gerbrandy 1951). Gevoegd bij het waterverlies door transpiratie veroorzaakt dit een indikking van bloed. Deze hemoconcentratie werd bestudeerd met behulp van de veranderingen van het hemoglobinegehalte, het hematocriet en het totale eiwitgehalte.

Training resulteert in een groter wordend bloedvolume en een toename van de totale lichaamshemoglobine (Falls 1968,

Holmgren 1960, Bevegörd 1967). Holmgren nam in rust na 8 tot 10 dagen ski-training een toename van het totale lichaams-hemoglobine, een vergroting van het bloedvolume, doch een verlaging van het hemoglobinegehalte waar. Dit berustte op een relatief sterkere vergroting van het plasmavolume in vergelijking tot de vergroting van het celvolume. Alhoewel de verschillen in rustwaarden tussen onderzoek I en onderzoek II in onze waarnemingen niet statistisch significant zijn, lopen deze wat betreft de hemoglobineconcentratie parallel aan de bevindingen van Holmgren.

De verschillen die door ons bij 160 watt vóór en na training werden vastgesteld, kunnen mogelijk berusten op een verschil in klimatologische omstandigheden. Alhoewel de temperatuur in oktober 1968 en juni 1969 in de onderzoeksruimte steeds schommelde tussen de 22° en 24° C, kunnen verschillen in het vochtigheidsgehalte, die niet door ons werden geregistreerd, een wisselende mate van transpiratie hebben veroorzaakt. In de literatuur wordt een maximale hemoconcentratie tijdens duurbelastingen van een met onze experimenten vergelijkbare duur en intensiteit van 10 tot 15% als normaal beschouwd. De mate van hemoconcentratie, die tijdens onze experimenten werd gemeten, komt ongeveer overeen met de waarnemingen van Ekblom (1968), die bij maximale belasting van slechts 5 à 6 minuten bij atleten een hemoconcentratie van 6% mat. Na training is de mate van hemoconcentratie voor de drie onderzochte parameters niet identiek. Gerbrandy heeft naar aanleiding van de bij inspanningsproeven door hem eveneens vastgestelde relatief sterke stijging van het totale eiwitgehalte gewezen op de in deze situatie in de capillairen optredende lekkage van eiwitten en het smaller worden van de plasma randzone. Deze interacties kunnen verantwoordelijk zijn voor het door ons waargenomen onvoldoende verschil tussen de procentuele veranderingen van het celvolume en het plasma eiwitgehalte. Immers bij vochtonttrekking aan het plasma moet het plasma eiwitgehalte relatief ongeveer tweemaal zoveel stijgen, als het hemoglobinegehalte of het hematocriet.

5.6 Lichaamstemperatuur.

Tijdens de inspanningsproef stijgt de rectale lichaamstemperatuur in onderzoek I gemiddeld van 36.8° C tot 37.7° C. In onderzoek II loopt de temperatuur op van 37.0° C tot 37.9° C.

5.7 Duur van de maximale inspanningsproef.

De belasting werd in onderzoek I gemiddeld 26 minuten en 22 seconden en in onderzoek II gemiddeld 36 minuten en 21 seconden volgehouden. Voor onderzoek I komt dit overeen met een arbeid van 244800 Nm. De tien minuten, dat de inspanningsproef na training langer werd volgehouden betekende een toename van de verrichte arbeid van 165600 Nm, hetgeen een calorisch equivalent betekent van 39,3 kcal. Bij een nuttig rendement, dat bij deze zware arbeid op 15% wordt geschat, betekent dit een gemiddeld extra calorienverbruik van ongeveer 262 kcal.

5.8 Lichaamsgewicht.

Het lichaamsgewicht was vóór training gemiddeld 79,4 kg. (97,3 - 67,8 kg). Na training was het praktisch gelijk gebleven, namelijk: 79.9 kg (97,0 - 66,2 kg). In het algemeen leek de habitus van de deelnemers onder invloed van de roeitraining te zijn veranderd. Wij nemen aan, dat vetweefsel (30% water bevattende) vervangen is door spierweefsel (70% water bevattende), hetgeen echter niet in een significante gewichtstoename heeft geresulteerd. Deze hypothese zou feitelijk door meting van de 24 uren creatinine uitscheiding in de urine of door meting van de dikte van de huidplooien moeten worden bevestigd. Deze bepalingen werden echter niet verricht.

5.9 Samenvattende conclusies.

De effecten van training werden bestudeerd bij twee submaximale belastingen, bij maximale belasting en in de herstelfase. De voor vergelijking gebruikte fasen in de trapsgewijs toenemende arbeidsbelasting zijn:

1. de derde minuut van 160 watt belasting.
2. de derde minuut van 200 watt belasting.
3. maximale belasting, d.w.z. bij het breekpunt.
4. de derde minuut na het staken van de inspanningsproef, ("3 minuten herstel").
5. de twaalfde minuut na het staken van de inspanningsproef, ("12 minuten herstel").

Voor "3 en 12 minuten herstel" werden de resp. dalingspercentages ten opzichte van de resultaten bij het breekpunt berekend.

a. Submaximale belasting:

ademvolume: de vergroting tijdens de trapsgewijs toenemende belasting is na training geringer. Het verschil is voor 160 en 200 watt niet statistisch significant.

ademfrequentie: de stijging tijdens de trapsgewijs toenemende belasting is na training geringer. Het verschil is voor 160 en 200 watt niet statistisch significant.

ademminuutvolume: de vergroting tijdens de trapsgewijs toenemende belasting is na training geringer. Het verschil is voor 160 en 200 watt statistisch significant en bedraagt gemiddeld 25%.

zuurstofopname: de vergroting tijdens de trapsgewijs toenemende belasting is na training geringer. Het verschil voor 160 en 200 watt is statistisch significant en bedraagt gemiddeld 7%.

berekende maximale zuurstofopneming: deze bedraagt vóór en na training resp. gemiddeld 3,0 liter en 3,9 liter. Dit verschil is statistisch significant.

ademequivalent: de stijging tijdens de trapsgewijs toenemende belasting is na training geringer. Het verschil is voor 160 en 200 watt niet statistisch significant.

hartfrequentie: de stijging tijdens de trapsgewijs toenemende belasting is na training geringer. Het verschil is voor 160 en 200 watt statistisch significant en bedraagt gemiddeld 15%.

arteriële bloeddruk: het beloop van de arteriële bloeddruk is vóór en na training niet duidelijk verschillend.

Hart Werk Index: de stijging tijdens de trapsgewijs toenemende belasting is na training geringer. Het verschil is voor 160 en 200 watt statistisch significant en bedraagt gemiddeld 19%.

zuurstofpols: de stijging tijdens de trapsgewijs toenemende belasting is na training sterker. Het verschil is voor 160 en 200 watt statistisch significant en bedraagt gemiddeld 12%.

melkzuurgehalte: het melkzuurgehalte ligt na training bij 160 watt 44% lager dan vóór training. Dit verschil is statistisch significant.

pH: vóór training bedraagt de pH bij 160 watt 7,36. Na training bedraagt deze 7,39. Het verschil is statistisch significant.

Pco₂: deze is bij 160 watt vóór en na training niet verschillend.

standaardbicarbonaatgehalte: deze is bij 160 watt vóór en na training niet belangrijk verschillend.

hemoglobine, hematocriet, totaal eiwitgehalte: de stijging van deze drie parameters is tijdens de trapsgewijs toenemende belasting na training voor het hemoglobine en het totaal eiwitgehalte groter dan vóór training. Dit verschil is echter niet statistisch significant.

b. Maximale belasting:

totale belastingsduur: deze neemt voor 15 van de 16 roeiers onder invloed van training toe. Vóór training is de belastingsduur gemiddeld 26 min. 22 sec. en na training gemiddeld 36 min. 21 sec. Dit betekent een toename van de verrichte arbeid van 165600 Nm (65%).

ademminuutvolume: het verschil tussen het ademminuutvolume vóór training en na training is statistisch significant en bedraagt 25%. Het ademminuutvolume bedraagt vóór en na training resp. gemiddeld 87,7 liter en 110,3 liter.

zuurstofopname: het verschil tussen de zuurstofopname bij het breekpunt vóór training en na training is statistisch significant en bedraagt 17%. De zuurstofopname bij het breekpunt bedraagt vóór en na training resp. 2772 ml. en 3239 ml.

ademequivalent: vóór en na training is er bij het breekpunt ten aanzien van het ademequivalent geen belangrijk verschil.

hartfrequentie: de hartfrequentie bij het breekpunt is vóór en na training resp. 183/min. en 189/min. Dit verschil is niet statistisch significant.

arteriële bloeddruk: de arteriële bloeddruk bij het breekpunt is vóór en na training slechts in geringe mate, niet statistisch significant, verschillend.

Hart Werk Index: de Hart Werk Index bedraagt gemiddeld vóór training 5,8 en na training 6,3. Dit verschil is niet statistisch significant.

zuurstofpols: het verschil vóór en na training ten aanzien van de zuurstofpols is statistisch significant. Het verschil bedraagt 13%.

melkzuurgehalte: het melkzuurgehalte ligt na training 18% hoger dan vóór training. Dit verschil is echter niet statistisch significant. Vóór training bedraagt het melkzuur-

gehalte bij het breekpunt 7,4 mmol/l. Na training bedraagt deze 8,8 mmol/l.

pH: vóór en na training bestaat er ten aanzien van de pH geen verschil. De pH is in beide experimenten gemiddeld 7,28.

Pco₂: de Pco₂ ligt na training bij het breekpunt lager dan vóór training. Dit verschil is niet statistisch significant. Vóór training is de gemiddelde Pco₂ 38 mmHg. Na training is de Pco₂ gemiddeld 34 mmHg.

standaardbicarbonaatgehalte: het verschil is voor deze parameter niet statistisch significant. Het verschil bedraagt vóór en na training gemiddeld 5%.

hemoglobine, hematocriet en totaal eiwitgehalte: de mate van stijging ten opzichte van de rustwaarden bedraagt vóór training gemiddeld 7%. Na training is de stijging voor deze drie parameters gemiddeld 11%.

ademvolume: het ademvolume bij het breekpunt is vóór en na training niet verschillend.

ademfrequentie: het verschil tussen de ademprequentie vóór en na training is statistisch significant en bedraagt 20%. De ademprequentie is vóór en na training resp. 29/min. en 35/min.

c. Herstelfase:

Van alle gemeten grootheden is alleen het dalingspercentage van het melkzuurgehalte na "12 minuten herstel" significant verschillend. Het dalingspercentage vóór training is 47%. Na training is het dalingspercentage 53%.

Uit deze gegevens kunnen mede op grond van de literatuurgegevens de volgende conclusies worden getrokken:

1. Het ademminuutvolume ligt voor een gegeven submaximale belasting na training lager dan vóór training. Dit is mogelijk door een verbetering van het ventilatoire rendement, dankzij een gelijkmatiger alveolaire ventilatie en een grotere alveolo-capillaire zuurstofgradient. Dat deze verbetering van het ventilatoire rendement niet blijkt uit een significant lager liggen van de ademequivalenten na training wordt veroorzaakt door het feit, dat de zuurstofopname voor dezelfde belastingen eveneens is verlaagd.

Het ademminuutvolume op het breekpunt is in onderzoek II 25% hoger dan in onderzoek I. Dit betekent, dat de roeiers na training in staat en bereid zijn om een groter percentage van hun maximaal ademminuutvolume tijdens de lichamelijke inspanning te gebruiken.

2. De zuurstofopneming bleek bij de submaximale belastingen na training lager te liggen dan vóór training. Dit berust waarschijnlijk op een verbetering van het nuttig effect van de spierarbeid, waardoor de verhouding tussen de verrichte uitwendige arbeid en de hiervoor benodigde zuurstof gunstiger wordt.

De berekende maximale zuurstofopneming, die in het algemeen als een van de belangrijkste criteria voor het vaststellen van het lichamelijk prestatievermogen wordt beschouwd, lag na training ongeveer 29% hoger dan vóór training. Dit wijst erop, dat er ten aanzien van de zuurstoftransporterende mechanismen duidelijk effecten van training zijn.

3. Door een geringere zuurstofbehoefte, berustende op verbetering van het mechanisch rendement, een toegenomen cellulaire zuurstofextractie en een onder invloed van training verbeterde verdeling van het hartminuutvolume over de actieve orgaansystemen, ligt de hartfrequentie voor de onderzochte belastingen na training lager dan vóór training.

Zowel de hartfrequentie als de arteriële bloeddruk zijn vóór en na training bij het breekpunt niet significant verschillend. Het "plafond" van de hartfrequentie en de arteriële bloeddruk blijkt in de onderhavige experimenten dus niet door training te worden beïnvloed.

4. Het hoger liggen van de pH en het lager liggen van het melkzuurgehalte bij submaximale belasting in onderzoek II wijst op een onder invloed van training ontstane geringere anaerobiosis.

De waarneming, dat het melkzuurgehalte bij het breekpunt in onderzoek II hoger was dan in onderzoek I was niet statistisch significant. De door Biersteker en van Leeuwen na training waargenomen grotere mentale hardheid, die zich uitte in de bereidheid om bij een hoger melkzuurgehalte in het bloed lichamelijke arbeid te verrichten, kon dus door ons niet met zekerheid worden bevestigd.

5. De mate van hemoconcentratie was tijdens de inspanningsproeven vóór en na training niet belangrijk verschillend. Het na training lagere hemoglobinegehalte in rust berust mogelijk op een ten opzichte van het celvolume relatief sterker toegenomen plasmavolume. Het vóór en na training in rust gelijk gebleven hematocriet is echter met deze verklaring in tegenspraak. Bij de verklaring voor de in ver- gelijk met het celvolume onvoldoende toeneming van het totale eiwitgehalte in het plasma moet rekening worden gehouden met de elkaar tegenwerkende interacties van versmalling van de plasmarandzône en de tijdens spier- contracties plaatsvindende lekkage van eiwitten.
6. De verschillende fasen van de inspanningsproef bleken voor het nagaan van de effecten van training om verschil- lende redenen niet dezelfde praktische waarde te hebben. Zo had met name de "herstelfase" een teleurstellende op- brengst.
7. De toeneming van de maximaal leverbare uitwendige ar- beid, die in de verlenging van de totale belastingsduur tot uitdrukking komt, blijkt aanzienlijk te zijn. De onder in- vloed van training optredende verlenging van de gemid- delde belastingsduur bedraagt ongeveer 30%. De hierin extra verrichte uitwendige arbeid bedraagt, doordat de inspanningsproef trapsgewijs verloopt, ongeveer 65% van de gemiddeld totaal in onderzoek I verrichte arbeid.

Hoofdstuk 6

REVERSIBILITEIT VAN HET EFFECT VAN TRAINING

6.1 Inleiding.

Zeven van de zestien deelnemers, die uiteindelijk de training volbracht hadden, konden in het najaar 1969 opnieuw worden onderzocht, (onderzoek III). Gemiddeld was deze groep op dit moment zes maanden uit training. Ten tijde van het derde onderzoek hadden twee van de zeven echter sedert een week lichte training hervat.

Behoudens het feit, dat drie deelnemers voor een analyse van de arteriële bloedgassen tijdens het derde experiment een Cournand naald in de arteria brachialis hadden, waren de omstandigheden en het belastingsschema volkomen identiek aan de beide vorige experimenten.

Niet 200 watt doch 220 watt werd bestudeerd, omdat zes van de zeven proefpersonen deze laatste belasting in drie experimenten bereikten. Zodoende bestond de mogelijkheid om een grotere spreiding in de submaximale belasting te onderzoeken. De onderzochte groep bestond bij deze belasting nog slechts uit zes personen, omdat een van de deelnemers tijdens de derde serie experimenten door een foutieve opdracht tijdens een belasting van 160 watt de proef staakte. Telkens werden beoordeeld de \dot{V}_E en de \dot{V}_{O_2} bij 160 watt, 220 watt en het breekpunt en het L_a bij 160 watt en bij het breekpunt.

6.2 Resultaten, (fig. 6.1).

6.2.1 Ademminuutvolume (\dot{V}_E).

a. S u b m a x i m a l e b e l a s t i n g : wanneer men de resultaten bij 160 en 220 watt in onderzoek II en III vergelijkt met die van onderzoek I blijkt het volgende: in onderzoek II ligt \dot{V}_E bij 160 watt en 220 watt resp. 21 en 24% lager dan in onderzoek I, (tabel 6.1). In onderzoek III is \dot{V}_E bij dezelfde belastingen resp. 7% en 4% kleiner dan in onderzoek I.

b. M a x i m a l e b e l a s t i n g : \dot{V}_E (breekpunt) is in onderzoek II 36% hoger dan in onderzoek I,

(tabel 6.2). In onderzoek III is er weliswaar sprake van een geringer verschil ten opzichte van onderzoek I, doch het verschil bedraagt toch nog 28%.

tabel 6.1

Het ademminuutvolume (\dot{V}_E), de zuurstofopname per minuut (\dot{V}_{O_2}) en het melkzuurgehalte (La) tijdens submaximale belastingen vóór training (onderzoek I), tijdens training (onderzoek II) en uit training (onderzoek III).

\dot{V}_E	deelnemers	onderzoek I	onderzoek II	onderzoek III
160 watt	7	51 l + 9 l	40 l + 6 l	47 l + 5 l
220 watt	6	76 l + 13 l	57 l + 6 l	73 l + 11 l
\dot{V}_{O_2}				
160 watt	7	1961 ml/min + 30	1880 ml/min + 72	1856 ml/min + 210
220 watt	6	2602 ml/min + 104	2423 ml/min + 115	2575 ml/min + 192
La				
160 watt	7	3,0 mmol/l + 1,1	1,7 mmol/l + 0,4	2,8 mmol/l + 0,7

6.2.2 Melkzuurgehalte (La).

- Submaximale belasting: het La bij 160 watt is in onderzoek II 42% lager dan in onderzoek I. In onderzoek III bedraagt het verschil met onderzoek I nog slechts 7%.
- Maximale belasting: evenals ten aanzien van \dot{V}_E (breekpunt) is er van een duidelijke teruggang van het La (breekpunt) geen sprake. Het La (breekpunt) in onderzoek II ligt 29% hoger dan in onderzoek I. In onderzoek III bedraagt het verschil 30%.

tabel 6.2

Het ademminuutvolume (\dot{V}_E), de zuurstofopname per minuut ($\dot{V}O_2$) en het melkzuurgehalte (La) bij het breekpunt vóór training (onderzoek I), tijdens training (onderzoek II) en uit training (onderzoek III).

breekpunt	deelnemers	onderzoek I	onderzoek II	onderzoek III
\dot{V}_E	6	88 l \pm 14 l	120 l \pm 12 l	114 l \pm 16 l
$\dot{V}O_2$	6	2763 ml/min \pm 213	3457 ml/min \pm 310	2891 ml/min \pm 600
La	6	7,6 mmol/l \pm 2,9	9,1 mmol/l \pm 2,1	9,4 mmol/l \pm 2,0
Totale belastingsduur	6	27 m.42 sec.	37 m.24 sec.	29 m.42 sec.

6.2.3 Zuurstofopname ($\dot{V}O_2$).

- Submaximale belasting: bij 160 en 220 watt zijn de verschillen in $\dot{V}O_2$ tussen de drie onderzoeken te gering om er conclusies aan te kunnen verbinden.
- Maximale belasting: het in onderzoek II duidelijk aanwezig zijnde trainingseffect ten aanzien van de $\dot{V}O_2$ (breekpunt), dat blijkt uit een stijging ten opzichte van onderzoek I van 25%, is in onderzoek III grotendeels verloren gegaan. De $\dot{V}O_2$ (breekpunt) ligt in onderzoek III nog slechts 5% hoger dan in onderzoek I.

6.2.4 Belastingsduur.

Dezelfde ontwikkeling als de $\dot{V}O_2$ maakt de belastingsduur door. De belastingsduur is in onderzoek II ten opzichte van onderzoek I 35% toegenomen. Het verschil tussen onderzoek III en onderzoek I bedraagt nog maar 7%.

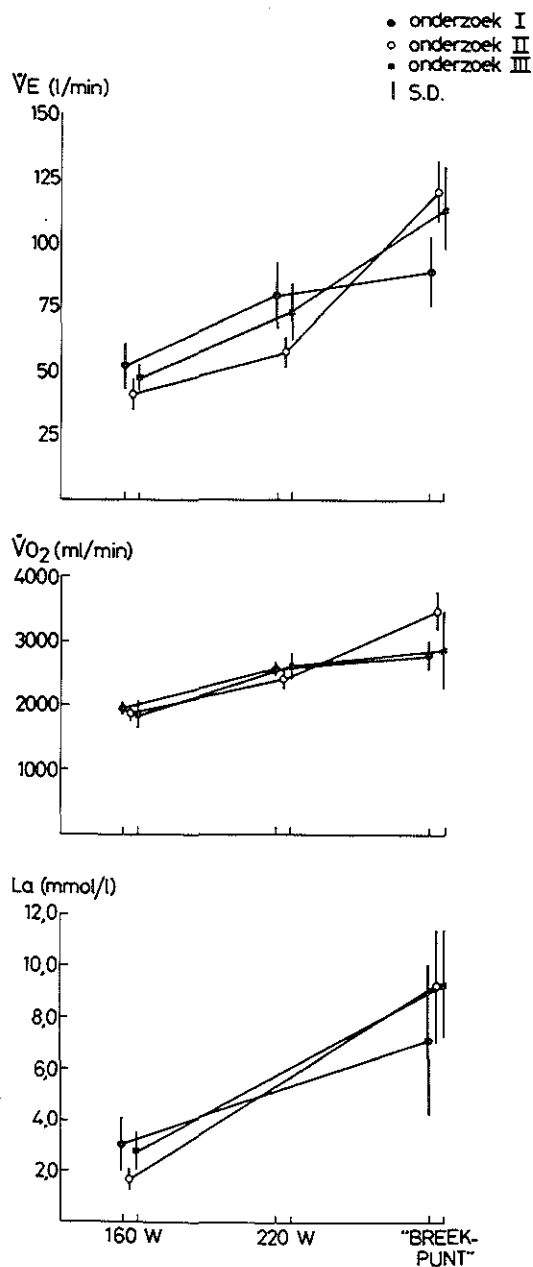


fig. 6.1

Het ademminuutvolume (\dot{V}_E), de zuurstofopname per minuut ($\dot{V}O_2$) en het melkzuurgehalte (La) in de drie herhalingsproeven.

Bespreking van het ademminuutvolume (\dot{V}_E), de zuurstofopname per minuut ($\dot{V}O_2$) en het melkzuurgehalte (La).

De metingen bij submaximale belastingen tonen aan, dat de zeven, voor de derde maal onderzochte roeiers, zes maanden na het staken van hun training grotendeels op hun uitgangspunt zijn teruggekeerd. Individueel verschilt deze teruggang, doordat de mate van ongetraindheid uiteen loopt.

Voor de metingen bij het breekpunt doet zich het merkwaardige verschijnsel voor, dat voor onderzoek II en III het La (breekpunt) en de \dot{V}_E (breekpunt) in dezelfde orde van grootte zijn, doch dat de belastingsduur sterk is verkort, hetgeen betekent dat de hoge waarden van de \dot{V}_E en het La in een korter tijdsbestek worden bereikt. Wanneer men de gegevens van het breekpunt uit onderzoek III vergelijkt met die uit onderzoek I, ligt het quotiënt $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ (ademequivalent) in onderzoek III aanzienlijk ongunstiger dan in onderzoek I. Deze waarnemingen wijzen op een teruggang van de lichamelijke conditie tot beneden het niveau van de uitgangstoestand vóór training. Het is zeer wel mogelijk, dat het aanzienlijk gewijzigde levenspatroon in de vakantietijd als reactie op de ascetische levenswijze gedurende de trainingsperiode verantwoordelijk is voor dit "rebound fenomeen".

Er zijn weinig literatuurgegevens over de reversibiliteit van trainingseffecten. Sporadisch wordt melding gemaakt van een snelle teruggang van de conditie, zodra intensieve training werd afgebroken. Literatuurgegevens, o.a. Brouha (1962), wijzen op een snelle verslechtering van de lichamelijke conditie door vermindering van het nuttig effect van spierarbeid en een tragere achteruitgang door een verkleining van de maximale zuurstofopneming. Saltin (1968) zag na 21 dagen bedrust een daling van de maximale zuurstofopneming van 28%. Miller (1965) nam bij zes proefpersonen na vier weken bedrust een daling van de maximale zuurstofopneming van 22% waar. Saltin, die bij zijn studie metingen van het hartminuutvolume verrichtte, heeft aangetoond, dat verkleining van de maximale zuurstofopneming samengaat met een kleiner maximaal slagvolume. De maximale hartfrequentie bleek niet te veranderen. De mate van teruggang van de maximale zuurstofopneming in de door Saltin onderzochte groep was procentueel voor getrainden en ongetrainden gelijk. De verklaring van het verkleinde maximale hartminuutvolume zocht hij in een verminderde intrinsieke contractiekracht.

van de hartspier of in een verminderde vasomotoriek met toegenomen perifere veneuze pooling van bloed. Fortuin (1966) zag bij raceroeiers tijdens kortdurende onderbreking of beïnvloeding van een intensief trainingsprogramma door examens en vakanties bij submaximale belastingen onmiddellijk hogere polsfrequenties. Alhoewel de geciteerde auteurs geen gelijke proefopstellingen gebruikten, mag uit hun gegevens worden geconcludeerd, dat lichamelijke conditie zeer kwetsbaar is, en dat het weinig verwondering mag wekken, dat in de door ons onderzochte groep na zes maanden een aanzienlijke verslechtering van de lichamelijke conditie is vastgesteld.

Het \dot{V}_{La} (breekpunt) en de \dot{V}_{E} (breekpunt), die beiden in onderzoek III hoger zijn dan in onderzoek I, vestigen de indruk, dat het door training gekweekte doorzettingsvermogen niet snel verloren gaat. Ten aanzien van het feit, dat twee van de zeven voor de derde maal onderzochte roeiers op het moment van onderzoek III de training sedert twee weken in lichte mate hadden hervat, kan worden opgemerkt, dat Saltin heeft aangetoond, dat het 30 tot 40 dagen duurde voordat met een intensieve training, die op de bedrust volgde, weer de oorspronkelijke maximale zuurstofopneming werd verkregen. Het herstel van de maximale zuurstofopneming bleek zich echter wel reeds na enkele dagen te gaan aftekenen. Dit overwegende mag men aannemen, dat de groep van zeven bij onderzoek III niet in dezelfde conditie verkeerde.

Om de in het bovenstaande reeds gememoreerde invloeden van levenswijze en rookgewoonte op de lichamelijke conditie te illustreren, zal verslag worden uitgebracht van het verloop der experimenten bij twee proefpersonen.

6.3 Twee individuele waarnemingen.

De belangrijkste gegevens van de betrokkenen zijn ondergebracht in tabel 6.3. Hierin zijn een aantal anamnestiche gegevens en belangrijke longvolumina vóór training weergegeven.

tabel 6.3

vóór training	roeier E.D.	roeier P.R.
leeftijd	19 jr.	23 jr.
lengte	1,88 m.	1,78 m.
gewicht	85,5 kg	68,0 kg
competitiesport	hockey, tennis	athletiek, zwemmen
roken	20 sigaretten dd.	-
hoesten	++	-
subjectieve conditie	"redelijk"	"redelijk"
vitale capaciteit	4637 ml (norm. 4892 ml)	5133 ml (norm 3967 ml)
functioneel residue	54,1 % (norm. 36,9 %)	36,3 % (norm. 36,9 %)
één seconde waarde	69,9 % (norm. 78,8 %)	66,3 % (norm. 78,8 %)
MAMV	107,3 l (norm. 136,1 l)	105,8 % (norm. 110,3 l)
in training		
gewicht	83,0 kg	66,0 kg
roken	-	-
hoesten	-	-
subjectieve conditie	"goed"	"goed"
uit training		
gewicht	82,5 kg	64,3 kg
roken	25 sigaretten dd.	-
hoesten	++	-
competitiesport	-	zwemmen
subjectieve conditie	"slecht"	"redelijk"

Roeier E.D. onderscheidt zich in ongunstige zin van roeier P.R. Op grond van de anamnese en het longfunctieonderzoek is er bij roeier E.D. waarschijnlijk sprake van een recidiverende bronchitis met een beginnend functieverlies. Roeier P.R. heeft een normale longfunctie. Ten aanzien van de ventilatie, zuurstofopname, melkzuurgehalte en het maximale prestatievermogen laten beiden onder invloed van training een verbetering zien, (fig.6.2). Opvallend is echter, dat in de drie opeenvolgende onderzoeken de breekpuntbelasting bij roeier E.D. bereikt wordt bij het naderen van het

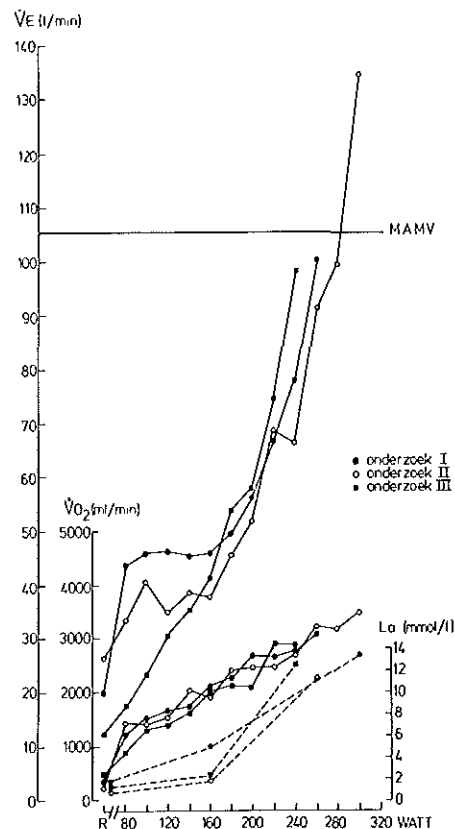
maximale ademminuutvolume (MAMV). De MAMV werd verkregen door de betrokkene in rust met een frequentie van ongeveer 30/min. maximaal te laten ventileren. Voor roeier E.D. bedraagt dit MAMV 107,5 liter. De ademfrequenties bij het breekpunt waren voor roeier E.D. in onderzoek I, II en III resp. 31/min., 36/min., en 34/min. Roeier P.R. nadert vóór training zijn MAMV (105,8 liter). Men kan zich echter afvragen of dit reëel is, aangezien de ademfrequentie bij het breekpunt slechts 22/min. was. Na training blijkt het MAMV aanzienlijk te worden overschreden. Ook in onderzoek III (uit training) is er nog sprake van deze overschrijding. De ademfrequenties bij het breekpunt zijn dan resp. 35 en 38/min. Afhankelijk van de trainings-toestand liggen voor beide roeiers bij de submaximale belastingen de curven op een ander niveau. Roeier E.D. laat grotere veranderingen zien dan roeier P.R. Het is aannemelijk, dat de in belangrijke mate gewijzigde levenswijze van roeier E.D. hierop van invloed is geweest. Beide roeiers tonen ten aanzien van de zuurstofopname geen belangrijke verschillen. Het ademhalingspatroon van roeier P.R. demonstreert in welke mate bij een lage submaximale belasting kan worden gehyperventileerd. Pas bij het derde experiment is dit initiële hyperventileren verdwenen.

Dit alles overziende rijst nu de vraag, of bij roeier E.R., die pre-existent een gestoorde longfunctie heeft, het maximale prestatievermogen niet door het maximale ademminuutvolume wordt bepaald, hetgeen mogelijk niet door training in positieve zin kan worden beïnvloed. Onze waarnemingen zijn in overeenstemming met die van Pierce en Taylor (1964), die hebben aangetoond, dat training van patiënten met een gestoorde longfunctie wel resulteert in rendementsverbeteringen bij submaximale belastingen, doch niet in een vergroting van een maximaal ademminuutvolume.

6.4 Samenvattende conclusies.

Zeven van de zestien roeiers konden zes maanden na het staken van de roeitraining voor een derde maal worden onderzocht. De voor vergelijking gebruikte fasen in de trapsgewijs toenemende arbeidsbelasting waren nu:

ROEIER P.R.



ROEIER E.D.

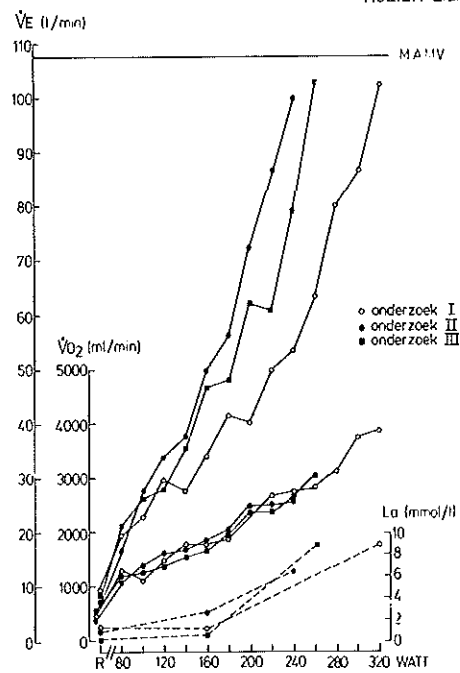


fig. 6.2

Het beloop van het ademminuutvolume (\dot{V}_E), de zuurstofopname per minuut ($\dot{V}O_2$) en het melkzuurgehalte (La) tijdens drie belastingsproeven bij roeier E.D. en P.R.

1. de derde minuut van 160 watt belasting.
2. de derde minuut van 220 watt belasting.
3. maximale belasting.

De beoordeelde parameters waren: het ademminuutvolume, de zuurstofopname en het melkzuurgehalte. De resultaten van de drie vergelijkende proeven zijn:

a. Submaximale belasting:

ademminuutvolume: voor de twee onderzochte submaximale belastingen ligt het ademminuutvolume in onderzoek II (na training) gemiddeld 22% lager dan in onderzoek I (vóór training). Voor deze belastingen ligt het ademminuutvolume in onderzoek III (zes maanden uit training) gemiddeld 6% lager dan vóór training.

melkzuurgehalte: bij 160 watt is het melkzuurgehalte in onderzoek II 42% lager dan in onderzoek I. In onderzoek III bedraagt het verschil met onderzoek I nog slechts 7%.

zuurstofopname: de verschillen bij submaximale belastingen zijn tussen de drie experimenten gering.

b. Maximale belasting:

ademminuutvolume: de grootte was gemiddeld in onderzoek I, II en III resp. 88 liter, 120 liter, 114 liter.

melkzuurgehalte: dit bedroeg in onderzoek I, II en III resp. 7,6 mmol/l, 9,1 mmol/l, en 9,4 mmol/l.

zuurstofopname: de zuurstofopname bij het breekpunt was in onderzoek I, II en III resp. 2763 ml, 3457 ml, en 2891 ml.

totale belastingsduur: voor onderzoek I, II en III bedroeg deze gemiddeld: resp. 27 min. 42 sec., 37 min. 24 sec. en 29 min. 42 sec.

Het beloop van de herhaalde inspanningsproeven werd met die van twee roeiers geïllustreerd. Een van deze twee voorbeelden betrof een 19-jarige roeier, die zowel anamnestic als klinisch aanwijzingen had voor het bestaan van een stoornis in de longfunctie. Deze roeier (E.D.) onderscheidde zich van de ander (P.R.), doordat het ademminuutvolume bij het breekpunt bij geen der experimenten het maximaal ademminuutvolume (107,3 liter)

benaderde. De andere roeier (P.R.) overschreed in onderzoek II en III duidelijk het maximaal ademminuutvolume (105,8 liter).

Uit deze gegevens kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De zes maanden na het staken van de training verrichte metingen van het ademminuutvolume, de zuurstofopname per minuut en het melkzuurgehalte bij submaximale belastingen tonen aan, dat de aanvankelijk bestaande effecten van training praktisch geheel verloren zijn gegaan.
2. De waarnemingen bij het breekpunt in onderzoek III wijzen zelfs op een teruggang van de lichamelijke conditie tot beneden het niveau van onderzoek I. Anamnestiche gegevens maken het waarschijnlijk, dat de verklaring van dit verschijnsel moet worden gezocht in een, in vergelijk tot de ascetische levenswijze gedurende het roeiseizoen, zeer ongebonden leefpatroon van de betrokken roeiers.
3. Voor twee roeiers werd het beloop van de drie herhaalde inspanningsproeven nagegaan. Een van hen, die op het spirogram vóór training verschijnselen van elasticiteitsverlies en bronchospasme had, bleek in tegenstelling tot de andere roeier bij geen der experimenten het vóór training bepaalde maximaal ademminuutvolume te overschrijden. Het is niet uitgesloten, dat bij de betrokkene de vastgestelde stoornis in de longdynamiek bepalend is voor het lichamelijk prestatievermogen.

Hoofdstuk 7

INDIVIDUELE EFFECTEN VAN TRAINING EN HUN ONDERLINGE VERBAND

7.1 Inleiding.

Na de veranderingen in de onderzochte groep als geheel te hebben besproken, rijst de vraag, in hoeverre binnen deze groep na training de lichamelijke conditie individueel was veranderd en in welke mate de conditie samenhangt met de mentale hardheid en het lichaamsgewicht. Ook is het belangrijk om te weten in welke mate de indruk van de roeicoach in overeenstemming is met de objectieve gegevens over de conditie en de mentale hardheid en in hoeverre de vroegere roeiervaring bij de resultaten merkbaar is. De bedoeling van dit hoofdstuk is, deze factoren in hun onderlinge verband nader te bezien.

7.2 Criteria.

a. B e o o r d e l i n g c o n d i t i e : bij de beoordeling van de lichamelijke conditie werd gebruik gemaakt van:

1. het gemiddelde ademminuutvolume (\dot{V}_E) van 160 en 200 watt (ventilatoire parameter).
2. het melkzuurgehalte (La) bij 160 watt (metabole parameter).
3. de gemiddelde Hart Werk Index (HWI) van 160 watt en 200 watt (circulatoire parameter).

Deze parameters werden gekozen, omdat zij de drie belangrijkste pijlers waarop de lichamelijke conditie berust, namelijk de longventilatie, de bloedsomloop en het spiermetabolisme, vertegenwoordigen.

Alle proefpersonen kregen vóór en na training voor ieder van deze drie criteria een waardering van 1 tot 10. Voor iedere parameter werd uit het verschil tussen zijn hoogste en laagste waarde een indeling in 10 klassen gemaakt. De 16 roeiers werden overeenkomstig hun resultaat ten aanzien van de betreffende parameter in een der 10 klassen ingedeeld, (tabel 7.1). De waardering 10 kreeg diegene, die de laagste \dot{V}_E , het laagste La en de laagste HWI had. Als index voor lichamelijke conditie werden de drie waarderingen gesommeerd (tabel 7.3). In het verdere betoog zal voor deze optelling de term "conditie-index" worden gehanteerd.

Tabel 7.1

Gevolgte procedure bij de klassering vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) ten aanzien van het ademminuutvolume.

Roeier	ONDERZOEK I			ONDERZOEK II		
	Gemiddelde van 160 watt en 200 watt	Groep	Waardering	Gemiddelde van 160 watt en 200 watt	Groep	Waardering
P.B.	43,7 l	40 - 45 l	8	32,2 l	30 - 35 l	10
J.L.	45,0 l	40 - 50 l	7	47,4 l	45 - 50 l	7
E.D.	54,6 l	50 - 55 l	6	33,5 l	30 - 35 l	10
P.S.	55,5 l	55 - 60 l	5	50,7 l	50 - 55 l	6
M.B.	45,7 l	45 - 50 l	7	43,6 l	40 - 45 l	8
R.J.	42,9 l	40 - 45 l	8	40,0 l	35 - 40 l	9
W.B.	59,8 l	55 - 60 l	5	57,2 l	55 - 60 l	5
H.V.	65,9 l	65 - 70 l	3	37,0 l	35 - 40 l	9
D.K.	58,2 l	55 - 60 l	5	43,8 l	40 - 45 l	8
J.K.	45,8 l	45 - 50 l	7	38,5 l	35 - 40 l	9
A.H.	58,8 l	55 - 60 l	5	44,1 l	40 - 45 l	8
R.K.	52,2 l	50 - 55 l	6	41,5 l	40 - 45 l	8
J.R.	44,0 l	40 - 45 l	8	39,1 l	35 - 40 l	9
A.O.	77,9 l	75 - 80 l	1	58,2 l	55 - 60 l	5
R.S.	45,9 l	45 - 50 l	7	40,7 l	40 - 45 l	8
P.R.	45,5 l	45 - 50 l	7	40,2 l	40 - 45 l	8

Met "conditie-index I" wordt bedoeld de index vóór training; onder "conditie-index II" wordt verstaan de index nà training.

- b. *B e o o r d e l i n g m e n t a l e h a r d h e i d*: bij de beoordeling van de mentale hardheid (mentaliteit) fungeerden als criteria:
1. het ademminuutvolume bij het breekpunt (\dot{V}_E breekpunt).
 2. het melkzuurgehalte (La breekpunt).

Deze twee criteria werden gehanteerd, omdat \dot{V}_E (breekpunt) vooral als percentage van het maximaal ademminuutvolume (de zogenaamde dyspnoe-index) verband houdt met het subjectief gevoel van kortademigheid en het La (breekpunt) bij zware lichamelijke inspanning het chemische houvast is voor de klachten van spierpijn en spiermoeheid. De dyspnoe-index kon niet worden berekend, omdat het maximaal ademminuutvolume slechts van een aantal roeiers bekend was.

Ook nu kregen alle proefpersonen vóór en nà training van elk van deze criteria een waardering van 1 tot 10. De waardering 10 kreeg diegene, die bij het breekpunt de hoogste \dot{V}_E en het hoogste La had. De verdere klassering kwam weer tot stand zoals onder a. werd beschreven. Als index voor mentaliteit (mentaliteitsindex) werden de twee waarderingen gesommeerd, (tabel 7.4).

- c. *B e o o r d e l i n g r o e i c o a c h*: aan de roeicoach werd aan het einde van het roeiseizoen mondeling een algemene indruk over de individuele conditionele en roeitechnische geschiktheid gevraagd. De roeicoach bracht zijn indruk onder in een gradatie van 1 tot 4 (index-roeicoach). De meest positieve beoordeling was waardering 4. Het bezwaar van deze aanpak was, dat de onderzochte groep door meerdere coaches werd gesuperviseerd. De beoordeling was dus niet éénhoofdig, (tabel 7.2).
- d. *D e r o e i e r v a r i n g*: deze werd tot uitdrukking gebracht in het aantal jaren, dat de proefpersonen vóór het eerste experiment reeds hadden geroeid. Er werd een waardering van 1 tot 10 gehanteerd. Degene met de

langste roeiervaring kreeg waardering 10 (index-roeiervaring).

- e. Het lichaamsgewicht: vóór en na training werden de roeiers van 1 tot 10 gerangschikt op lichaamsgewicht. De zwaarste roeier kreeg waardering 10 (index-lichaamsgewicht).

tabel 7.2

"Index-lichaamsgewicht" vóór en na training, de "index-roeiervaring" en de "index-roeicoach" voor 16 roeiers.

	gewicht I	gewicht II	aantal roei-jaren	indruk coach
P.B.	2	2	2	4
J.L.	4	5	2	4
E.D.	6	6	2	3
P.S.	6	5	2	1
M.B.	8	7	10	3
R.J.	6	6	1	2
W.B.	2	3	2	1
H.V.	5	5	2	2
D.K.	9	8	1	3
J.K.	4	4	3	1
A.H.	4	3	1	1
R.K.	10	10	1	3
J.R.	2	2	1	1
A.O.	5	5	3	2
R.S.	3	3	1	1
P.R.	1	1	2	1

7.3 Resultaten.

- a. Lichamelijke conditie: bij het vergelijken van de "conditie-index I en II" bleken de 16 roeiers zonder uitzondering onder invloed van training te zijn verbeterd. Wanneer de roeiers op grond van hun "conditie-index" worden gerangschikt, blijken er in deze rangschikking onder invloed van training veranderingen op te treden. Met andere woorden: de verbeteringen onder invloed van training zijn individueel verschillend, (tabel 7.3). De gemiddelde verbetering van de "conditie-index" bedraagt 7 ± 4 .

tabel 7.3

De individuele rangschikking vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) op grond van de conditie-index.

roeier	Onderzoek I		Onderzoek II		verschil conditie- index I/II
	rang- schikking	conditie index I	rang- schikking	conditie- index II	
R.J.	1	23	6	24	+ 1
M.B.	2	22	7	23	+ 1
D.K.	3	20	4	26	+ 6
E.D.	4	19	1	28	+ 9
J.K.	5	18	5	25	+ 7
P.B.	6	17	1	28	+11
R.K.	7	16	9	22	+ 6
H.V.	8	15	3	27	+12
J.L.	9	14	11	21	+ 7
P.S.	9	14	14	20	+ 6
J.R.	11	13	15	18	+ 5
A.O.	11	13	7	23	+10
R.S.	13	12	11	21	+ 9
P.R.	14	11	9	22	+11
W.B.	15	10	16	11	+ 1
A.H.	16	8	11	21	+13

- b. M e n t a l i t e i t : ook bij het vergelijken van de mentaliteitsindex I en II blijkt de onder invloed van training opgetreden verbetering statistisch significant te zijn, $p < 0,001$. Het verschil tussen mentaliteitsindex I en II bedroeg 4 ± 4 . Evenals de rangschikking naar conditie veranderde ook de rangschikking naar mentaliteit onder invloed van training, (tabel 7.4).

tabel 7.4

De individuele rangschikking vóór training (onderzoek I) en na training (onderzoek II) op grond van de mentaliteitsindex.

roeier	Onderzoek I		Onderzoek II		verschil mentaliteitsin- dex I/II
	rang- schikking	mentaliteits- index I	rang- schikking	mentaliteits- index II	
P.R.	1	16	1	19	+ 3
M.B.	2	15	7	12	- 3
A.O.	3	13	6	14	+ 1
R.S.	4	12	5	15	+ 3
P.S.	5	10	9	11	+ 1
J.L.	5	10	3	18	+ 8
R.K.	7	9	9	11	+ 2
D.K.	7	9	11	10	+ 1
E.D.	7	9	8	12	+ 3
A.H.	10	8	16	2	- 6
W.B.	11	7	4	17	+ 10
H.V.	12	6	11	10	+ 4
P.B.	12	6	11	10	+ 4
J.R.	14	5	1	19	+ 14
J.K.	15	4	15	9	+ 5
R.J.	16	2	11	10	+ 8

c. Correlatie berekeningen.

Vervolgens dient te worden beantwoord, waarmee de lichamelijke conditie en de verbetering van de lichamelijke conditie verband houdt. Hiertoe werden correlatie berekeningen uitgevoerd met een aantal criteria, die redelijkerwijze verband met de lichamelijke conditie konden hebben, (tabel 7.5).

tabel 7.5

De correlatietabel van de lichamelijke conditie en hiermede verband houdende factoren.

	C O N D I T I E		
	index I	index II	verschil index I en II
conditie-index			
verschil I en II	$r = 0,1718$	$r = 0,4423 *$	
mentaliteitsindex I	$r = 0,4495 *$		$r = 0,1718$
mentaliteitsindex II	$r = 0,2003$	$r = 0,4420 *$	
mentaliteitsindex			
verschil I en II	$r = 0,0036$		
index-roeicoach	$r = 0,5218 *$	$r = 0,5123 *$	$r = 0,0182$
index-lichaamsge- wicht I	$r = 0,5949 *$		
index-lichaamsge- wicht II		$r = 0,2742$	
index-roeiervaring	$r = 0,3843$		$r = 0,3465$

* $p < 0,05$

Ook tussen de "mentaliteit" en enkele voor de hand liggende criteria werden correlatieberekeningen uitgevoerd, (tabel 7.6).

tabel 7.6

De correlatietabel van de "mentaliteit" en hiermede verband houdende factoren.

	M E N T A L I T E I T		verschil index I en II
	index I	index II	
index-roeicoach	$r = 0,0488$	$r = 0,0459$	$r = 0,0814$
index-roeiervaring	$r = 0,4495 *$		

* $p < 0,05$

Bespreking van lichamelijke conditie en mentaliteit.

Uit tabel 7.3 blijkt, dat de 16 roeiers zonder uitzondering conditioneel verbeterd zijn. Deze verbetering is kwantitatief niet gelijk.

Welke conclusies kunnen uit de in tabel 7.5 weergegeven berekeningen worden getrokken? De lichamelijke conditie vóór training zegt weinig over de te verwachten verbetering onder invloed van training. De conditie-index II correleert echter wel significant met de verbetering van de conditie-index, (verschil conditie-index I en II). Men moet zich hierbij afvragen, of het wel juist is deze twee met elkaar te correleren, aangezien zij ten dele van elkaar afhankelijk zijn. Met dit voorbehoud kan men zeggen, dat een aantal gemeten criteria bij de beoordeling van de effecten van training een significant positieve relatie hebben met de rangschikking, die op grond van de conditie-index II nà training is verkregen.

Er bestaat tevens een statistisch significant verband tussen de lichamelijke conditie vóór training en de mentaliteit vóór training. Dit doet de vraag rijzen, of beiden niet in dezelfde mate het gevolg zijn van de vroegere roeierervaring. Voor de lichamelijke conditie is dit niet significant het geval. Dit verband bestaat tussen de mentaliteitsindex I en de roeierervaring voorafgaande aan de trainingsperiode echter wel. Ook de statistisch significante correlatie tussen de conditie-index II en de mentaliteitsindex II is een argument voor de waarschijnlijkheid, dat roeitraining in ongeveer gelijke mate verbetering van de lichamelijke conditie als een toeneming van de mentale hardheid aankweekt.

Zowel vóór als nà training correleert de lichamelijke conditie significant met de indruk van de roeicoach. Verbetering van de lichamelijke conditie vindt geen weerklank in de beoordeling van de roeicoach.

Alleen vóór training bestaat er een significant verband tussen lichaamsgewicht en lichamelijke conditie. Kennelijk spelen nà training fysiologische functies, zoals circulatie en ventilatie, een relatief grotere rol bij de resultaten van de inspanningsproef dan het lichaamsgewicht.

De gangbare opvatting in de roeiwereld, dat de kwantitatieve verbetering van de lichamelijke conditie onder invloed van training omgekeerd evenredig is met de vroegere roeierervaring kon in ons materiaal niet statistisch significant worden bevestigd.

Tussen de mentaliteit vóór training en de vroegere roeiervaring bestaat een statistisch significant verband. De indruk van de roeicoach blijkt niet met de mentaliteitsrangschikking overeen te komen.

7.4 Samenvattende conclusies.

In dit hoofdstuk werd getracht voor iedere roeier de lichamelijke conditie en de mentaliteit en de kwantitatieve verbetering van beiden onder invloed van training in een getal onder te brengen. Tevens werd nagegaan, in hoeverre beiden vóór en na training een verband hadden met de vroegere roeiervaring, de beoordeling van de roeicoach en het lichaamsgewicht.

Een kwantitatieve beoordeling van de lichamelijke conditie kwam tot stand door de gemiddelden van het ademminuutvolume en de Hart Werk Index bij 160 en 200 watt en het melkzuurgehalte bij 160 watt een klassering te geven. De klassering van de drie parameters werd opgeteld. Deze optelling leverde de "conditie-index". Gebruik makende van het ademminuutvolume en het melkzuurgehalte bij het breekpunt kwam op dezelfde wijze de "mentaliteitsindex" tot stand. Ook de vroegere roeiervaring, de beoordeling van de roeicoach en het lichaamsgewicht van iedere roeier kregen elk een klassering. Tussen de klasseringen van de verschillende, mogelijk met elkaar verband houdende, criteria werden correlatieberekeningen uitgevoerd.

De resultaten van deze bewerkingen waren de volgende; alle roeiers kregen onder invloed van training een verbetering van hun "conditie-index". Bij 14 van de 16 roeiers was dit eveneens voor de "mentaliteitsindex" het geval. Zowel voor de "conditie-index" als voor de "mentaliteitsindex" waren de verbeteringen voor iedere roeier kwantitatief verschillend. Er bleek een statistisch significante positieve correlatie te bestaan tussen:

- a. Conditie-index I (onderzoek I) en de mentaliteitsindex I (onderzoek I)..

Conditie-index I (onderzoek I) en de index-roeicoach..

Conditie-index I (onderzoek I) en de index-lichaamsgewicht I.

- b. Conditie-index II (onderzoek II) en het verschil tussen conditie-index I en II.
 Conditie-index II (onderzoek II) en de mentaliteitsindex II.
 Conditie-index II (onderzoek II) en de index-roeicoach.
- c. Mentaliteitsindex I en de index-roeiervaring.

Uit deze gegevens kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De individuele rangschikking naar lichamelijke conditie wordt na training, behalve door de uitgangsconditie vóór training, in de door ons onderzochte groep door individueel kwantitatieve verschillen in trainingseffecten beïnvloed.
2. De vroegere roeiervaring blijkt geen betekenis te hebben voor de lichamelijke conditie vóór training, doch wel van invloed te zijn op de bestaande mentale hardheid vóór training.
3. De vastgestelde significante verbetering van lichamelijke conditie en mentale hardheid en de significante correlatie tussen de mentale hardheid en de lichamelijke conditie na training tonen aan, dat de roeitraining zowel mentale hardheid als een verbeterde lichamelijke conditie aankweekt.
4. Het oordeel van de roeicoach blijkt meer door de indruk omtrent de individuele conditie, dan door de individuele mentale hardheid te worden gevormd.
5. Vóór training bestaat er een verband tussen de rangschikking naar lichamelijke conditie en het lichaamsgewicht. Na training bestaat deze relatie niet. Waarschijnlijk wordt na training de rangschikking naar lichamelijke conditie relatief méér door circulatoire, ventilatoire en metabole factoren beïnvloed. De resultaten van de inspanningsproef worden dus meer specifiek door andere lichamelijke kenmerken dan het lichaamsgewicht bepaald.
6. De vroegere roeiervaring tenslotte bleek geen statistisch significante invloed te hebben op de onder invloed van training optredende verbetering van de lichamelijke conditie.

Hoofdstuk 8

HET VERBAND TUSSEN DE ARTERIËLE BLOEDGASANALYSE EN VENTILATOIRE EN METABOLE METINGEN OMSTREEKS HET BREEKPUNT

8.1 Inleiding.

Meerdere auteurs, zoals Lilienthal (1946), Asmussen en Nielsen (1960) en Holmgren en MacIlroy (1964) hebben vastgesteld, dat gezonden zelfs bij zeer zware belasting, onder normale atmosferische condities, geen daling van hun arteriële zuurstofspanning of -saturatie krijgen.

Bij enkele onderzochte raceroeiers ontwikkelde zich tijdens zware belasting echter een cyanose. In tabel 8.1 is weergegeven om welke redenen en met welke klinische verschijnselen de 16 roeiers de inspanningsproef al of niet vrijwillig staakten. Uit deze tabel blijkt, dat er waarschijnlijk bij 9 van de 32 experimenten sprake was van een hypoxemie. De zich ontwikkelende cyanose vormde voor ons driemaal een reden om zelf de roeier opdracht te geven de inspanningsproef te beëindigen. Overigens waren de subjectieve redenen voor het staken van de inspanningsproeven veelal dezelfde.

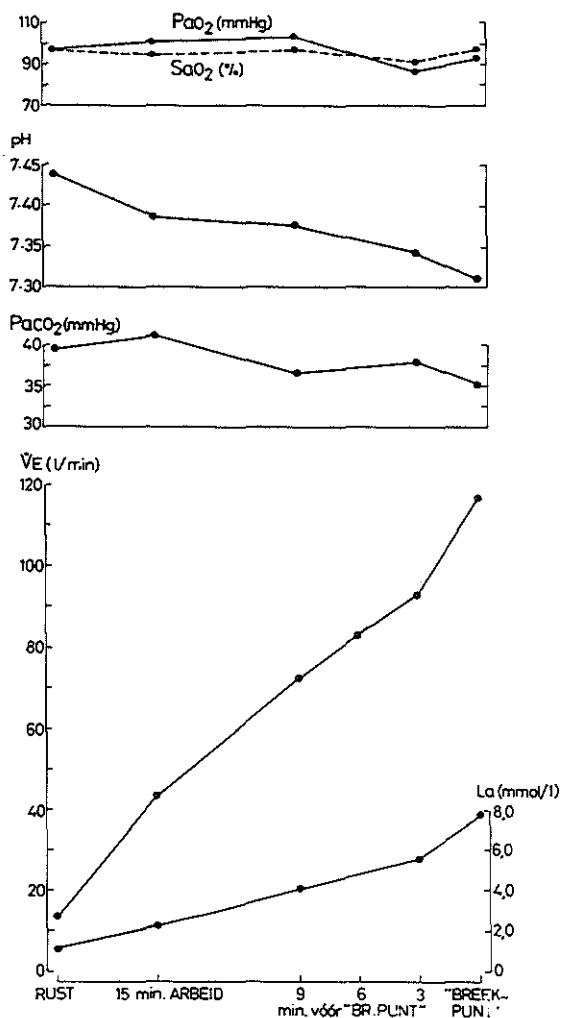
De, in een aantal gevallen tijdens de inspanningsproeven optredende, cyanose vormde voor ons een reden om enkele gerichte onderzoeken aan de periode kort vóór en tijdens het breekpunt te wijden. Voor het verkrijgen van gegevens over deze fase van de belasting werd gebruik gemaakt van de in hoofdstuk 4, paragraaf 2d beschreven proefopstelling. De samenstelling van de onderzochte groep is weergegeven in hoofdstuk 4, paragraaf 1c.

8.2 Eigen waarnemingen.

De onderzochte criteria veranderden gedurende de laatste drie minuten voor het breekpunt sterk, (fig. 8.1). Deze veranderingen bestaan uit een zich snel ontwikkelende metabole acidose met stijging van het melkzuurgehalte en een sterke vergroting van het ademminuutvolume. De daling van de pH wijst erop, dat de metabole acidose onvoldoende respiratoir wordt gecorrigeerd. De metabole acidose gaat gepaard met een daling van de gemiddelde arteriële zuurstofspanning.

fig. 8.1

Het gemiddelde ademminuutvolume (\dot{V}_E), het melkzuurgehalte (La), de pH, en de arteriële bloedgassen tijdens de trapsgewijs toenemende belasting kort vóór en tijdens het breekpunt bij 10 proefpersonen.

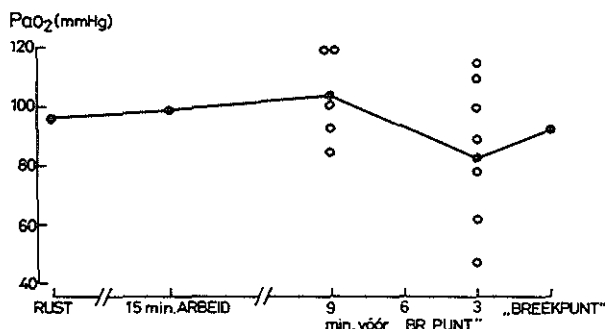


tabel 8.1

BEEINDIGING VAN DE ARBEIDSBELASTING								
Onderzoek I					Onderzoek II			
roeier	gedwongen	vrijwillig	argument	cyanose	gedwongen	vrijwillig	argument	cyanose
P.B.		x	spiermoeheid			x	spiermoeheid	
J.J.		x	kortademig spiermoeheid			x	kortademig spiermoeheid	
E.D.		x	kortademig spiermoeheid	+		x	kortademig	
P.S.		x	kortademig spiermoeheid			x	kortademig	
M.B.		x	géén			x	kortademig	
R.d.J.		x	kortademig			x	spierpijn	+
W.B.		x	spiermoeheid	+		x	spiermoeheid	+
H.W.		x	kortademig			x	kortademig	
D.K.	x		kortademig	+		x	kortademig	
J.K.		x	géén			x	géén	
A.H.		x	klinisch niet maximaal belast			x	klinisch niet maximaal belast	
R.K.	x		kortademig	+		x	kortademig	+
J.R.		x	neusklem pijnlijk			x	spiermoeheid	
A.O.		x	spiermoeheid			x	spiermoeheid	
R.S.	x		kortademig			x	kortademig	
P.R.		x	spiermoeheid	+		x	spiermoeheid	+

De spreiding van de P_{aO_2} is drie minuten vóór het breekpunt vrij groot, (fig. 8.2).

fig. 8.2. De gemiddelde P_{aO_2} en de spreiding hiervan drie minuten vóór het breekpunt bij 10 proefpersonen.



Daar de afname van het arteriële bloed binnen 20 sec. na het breekpunt plaats vond, wijst het, ten opzichte van drie minuten vóór breekpunt, hoger liggen van de P_{aO_2} bij het breekpunt er op, dat het herstel van de hypoxie zeer snel plaats vindt.

De hierboven geschetste fenomenen zullen nog met twee voorbeelden nader worden toegelicht. Het in fig. 8.3 weergegeven beloop van een inspanningsproef betreft een onderzoek bij een redelijk geoefende hockeyspeler (H.K.). Bij algemeen lichamelijk onderzoek en een electrocardiografisch onderzoek in rust konden bij deze proefpersoon geen afwijkingen worden vastgesteld. Wel deelde hij bij navraag mede, dat hij enkele malen tijdens een zware training kortdurend wegens ernstige kortademigheid het tempo had moeten vertragen. Een belangrijk conditieverschil in vergelijking tot zijn teamgenoten had hij echter nooit bespeurd.

fig. 8.3
 Het ademminuutvolume (\dot{V}_E),
 het melkzuurgehalte (La) en
 de arteriële bloedgassen bij
 een hockeyspeler H.K.
 tijdens de tragsgewijs toene-
 mende belasting.

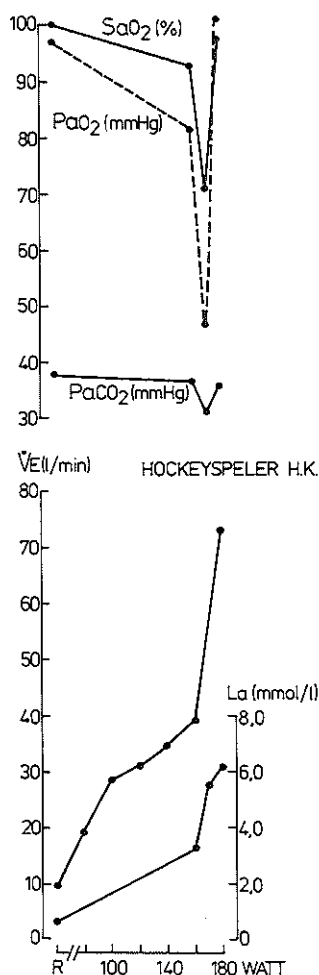


Fig. 8.3 laat zien hoe na bijna 18 minuten belasting, de PaO_2 en de SaO_2 abrupt daalden. Dit ging gepaard met een aanzienlijke stijging van het La en vergroting van de \dot{V}_E . De daling van de SaO_2 komt overeen met de klinische indruk die wij tijdens het experiment van de betrokkene kregen.

Er ontwikkelde zich een sterke cyanose en de onderzoeker was hierdoor genoodzaakt de arbeid te staken.

In contrast hiermede zijn de metingen bij wielrenner J.Z., (fig. 8.4). Ook hij toont bij zware belasting een geringe daling van de P_{aO_2} , doch deze verandering vindt niet plotseling plaats en noopte ook niet om op klinische gronden de belasting te staken.

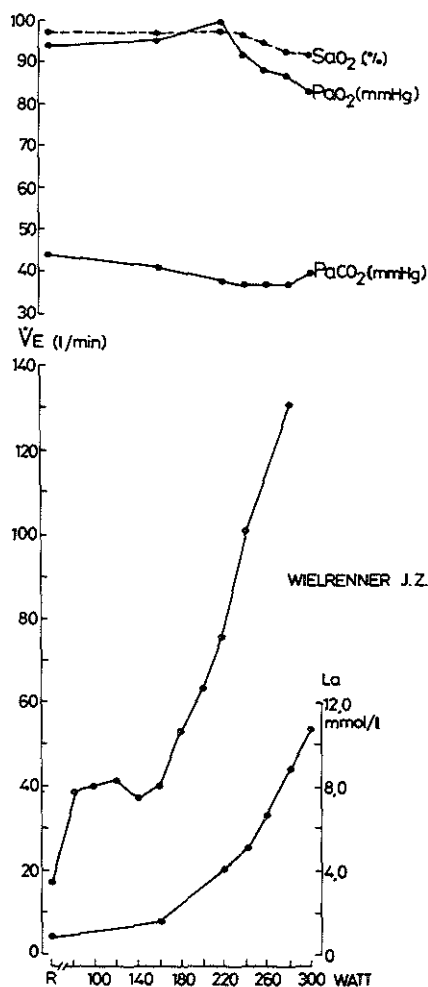


fig. 8.4
Het ademminuutvolume (\dot{V}_E), het melkzuur-
gehalte (La) en de ar-
teriële bloedgassen bij
wielrenner J.Z. tijdens
de trapsgewijs toene-
mende belasting.

8.3 Invloeden van de apparatuur.

In zijn dissertatie is Windemüller (1951) zeer diepgaand op de mogelijkheden en de beperkingen van de spirografie ingegaan. Als introductie in de te bespreken problematiek zullen aan dit werk een aantal gegevens worden ontleend. Windemüller signaleert tien potentiële foutenbronnen bij de interpretatie van de resultaten. Sedert 1951 zijn het merendeel van deze technische bezwaren achterhaald. Bij de door ons gebruikte apparatuur spelen echter nog enkele factoren een rol, die een bespreking verdienen. Deze zijn:

1. warmteontwikkeling in het circuit door het pompmechanisme, door de reactie van natronloog met koolzuur en door de warmte producerende proefpersoon zelf.
2. begrenzing van de pompcapaciteit.
3. beperking van de zuurstoftoevoer.
4. houdingsveranderingen en wisselend accessoir spiergebruik, die zowel de ademexcursies als de zuurstofbehoefte beïnvloeden.

Het spreekt vanzelf, dat deze factoren vooral bij zeer zware belasting een rol spelen.

- a. **D e w a r m t e o n t w i k k e l i n g :** de Lode spirograaf heeft zowel een luchtkoeling als een thermometer in het circuit ingebouwd. Tijdens onze experimenten bleek de temperatuur ondanks de koeler toch op te lopen. Deze stijging bedroeg maximaal 6° C. Iedere drie minuten werd tijdens de experimenten de temperatuur daarom geregistreerd en werd zonodig een correctiefactor op de volumemeting toegepast. Behalve dat de temperatuur de absolute grootte van de volumina beïnvloedt, is het niet uitgesloten, dat uitzetting van gassen door de temperatuurstijging (wet van Boyle-Gay Lussac) ook de relatieve samenstelling van het gasmengsel in het gesloten systeem beïnvloedt. Immers, de volumetoeëneming door verwarming markeert de volumeafname van de opgenomen zuurstof. Deze laatste zal dan onvoldoende worden gecompenseerd door de automatische stabilisator met als gevolg een daling van de partiële zuurstofspanning van het gasmengsel.

Met een zuurstof analysator werd tweemaal tijdens een maximale inspanningsproef het zuurstofgehalte in het inspiratoire gedeelte van het circuit gecontroleerd.

Onafhankelijk van de belasting of van de vullingstoestand van de zuurstofklok bleken tijdens de inspanningsproef onsystematische schommelingen van het zuurstofpercentage tussen de 20 en 18% op te treden, (fig. 8.5). Alhoewel het zuurstofpercentage boven de 18% blijft, vertoont dit percentage bij hogere belastingen een tendens tot dalen. Bij beide experimenten trad géén klinische cyanose op. De daling van het zuurstofgehalte in de spirometer van 20,9% tot ongeveer 18% veroorzaakt een zuurstofspanning van de ingeademde lucht van ongeveer 128 mmHg. Dit zal in rust resulteren in een arteriële zuurstofspanning van ongeveer 80 mmHg. Deze waarde in het arteriële bloed kan men in rust aantreffen, wanneer een mens zich op ongeveer 2000 m. hoogte bevindt. Doordat de oxyhemoglobine dissociatiecurve zich bij een Pao_2 van 80 mmHg nog praktisch in het horizontale gedeelte bevindt, ontstaat er nog geen daling van de Sao_2 . Het is echter bekend, dat een niet aan deze atmosferische omstandigheden aangepaste proefpersoon hiervan bij lichamelijke inspanning een beperking van zijn maximale prestatievermogen ondervindt (o.a. Biersteker en van Leeuwen 1966, en Falls 1969).

Deze gegevens overziende, kan hieruit worden geconcludeerd, dat de door onbekende oorzaken optredende schommelingen in het zuurstofgehalte van de spirometer een bijdrage kan hebben geleverd aan de door ons bij het breekpunt waargenomen cyanose. Uit tabel 8.2 blijkt, dat de Pao_2 drie minuten vóór het breekpunt geen relatie vertoont met de gestegen temperatuur in de spirometer.

- b. De pompcapaciteit: wanneer de pompcapaciteit tijdens de maximale inspanningsproeven niet toereikend zou zijn geweest, zou dit hebben geresulteerd in een alveolaire hypoventilatie. Het feit echter dat bij het breekpunt bij geen der experimenten een verhoogde koolzuurspanning in het arteriële bloed en geen stijging van het koolzuurgehalte van de uitademingslucht werd gemeten, maakt deze theoretische mogelijkheid zeer onwaarschijnlijk. Bovendien trad de verlaging van de Pao_2 drie minuten vóór het breekpunt niet bij dezelfde VE op, (tabel 8.2).

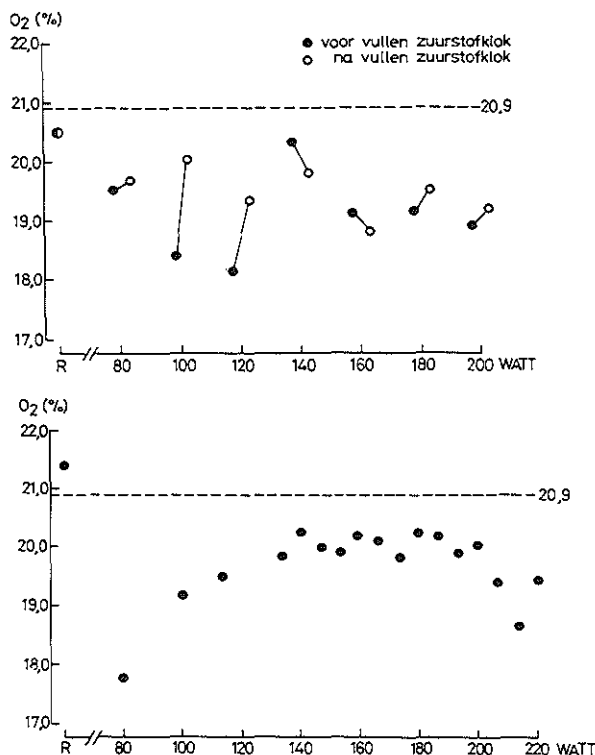


fig. 8.5

Het zuurstofpercentage in het inspiratoire gedeelte van het spirometercircuit tijdens de trapsgewijs toenemende belasting bij twee experimenten.

- c. De zuurstoftoevoer: ten aanzien van het zuurstofleverende vermogen kan het volgende worden opgemerkt. Volgens het testrapport van de Lode spirograaf is het maximaal stabiliserend vermogen 12 liter zuurstof per minuut. De door ons geregistreerde maximale zuurstofopname per minuut bedroeg 4098 ml. De zuurstofopname had in 33 gevallen bij het breekpunt nog een stijgende tendens, in 9 gevallen begon de curve af te vlakken en in 14 experimenten werd een plateau bereikt, of was de zuurstofopname bij het breekpunt lager dan de voorlaatste bepaling. Op grond van het veel grotere zuurstofleverende vermogen van de apparatuur mag worden geconcludeerd, dat deze laatste 23 waarnemingen berusten op een

naderen of het bereiken van de maximale zuurstofopneming van de onderzochte proefpersonen.

tabel 8.2

De P_{aO_2} , de \dot{V}_E en de temperatuurstijging in de spirometer.

temperatuurstijging van rust tot breekpunt in de spirometer		P_{aO_2} 3 min. vóór het breekpunt	\dot{V}_E 3 min. vóór het breekpunt
1	+ 4° C	62 mmHg	78,8 l.
2	+ 5° C	99 mmHg	102,5 l.
3	+ 5° C	-	106,7 l.
4	+ 6° C	78 mmHg	112,6 l.
5	+ 5° C	109 mmHg	83,4 l.
6	+ 4° C	-	115,9 l.
7	+ 5° C	-	96,0 l.
8	+ 5° C	87 mmHg	122,1 l.
9	+ 5° C	115 mmHg	73,7 l.
10	+ 3° C	47 mmHg	75,0 l.

- d. **H o u d i n g** : houdingsverandering als beïnvloedende factor valt moeilijk in een getal weer te geven. Bij ieder experiment werd enige tijd gereserveerd om de deelnemer een voor hem zo aangenaam mogelijke houding te laten kiezen. Het was onze ervaring, dat de tijdens de belastingsproef aanvankelijk gekozen houding niet als onaangenaam of belastend werd ondervonden. Wij hebben dan ook aangenomen, dat de ademhalingsdynamiek en het rendement van de spierarbeid niet in belangrijke mate door de houding beïnvloed wordt.

8.4 Het zuurstoftransport bij het breekpunt.

Meerdere auteurs (o.a. Asmussen en Nielsen 1960, Kayser 1970, Lilienthal 1946, Holmgren en Linderholm 1958) hebben vastgesteld, dat op zeeniveau zelfs bij zeer zware lichamelijke inspanning geen daling van het arteriële zuurstofgehalte optreedt. Veranderingen in de diffusiecapaciteit, die in hoofdstuk 2 werden besproken, kunnen slechts

resulteren in geringe dalingen van de arteriële zuurstofspanning, die in het algemeen echter niet door een daling van de arteriële zuurstofsaturatie worden gevolgd.

Freedman (1970) heeft aangetoond, dat wanneer de maximale zuurstofopneming tijdens lichamelijke inspanning wordt bereikt veelal slechts $2/3$ van het maximaal ademminuutvolume (MAMV) wordt gemobiliseerd. Aangezien het MAMV meestal over korte perioden wordt gemeten, zal het reële MAMV bij langere inspanningsproeven lager liggen en dientengevolge zal de mobilisatie hiervan tijdens maximale inspanningsproeven relatief hoger zijn. Toch mag men bij gezonden aannemen, dat de zuurstofopneming niet door het ademminuutvolume wordt beperkt.

Een moeilijk punt vormt de beoordeling van het cardio-vasculaire apparaat als een mogelijk limiterende factor bij het zuurstoftransport. De reden hiervan is, dat nauwkeurige metingen van het hartminuutvolume tijdens breekpunt belastingen uitermate moeilijk zijn. Bevegård en Shepherd (1967) wijzen op de waarschijnlijkheid dat het hartminuutvolume de zwakste schakel in de zuurstoftransportketen is. Holmgren (1956), Åstrand e.m. (1964), Ekblom en Hermansen (1968) hebben bij breekpuntexperimenten echter, met gebruikmaking van het slagvolume en de arteriële bloeddruk als gemeten criteria, geen stoornissen in de hartfunctie tijdens zware inspanning kunnen vaststellen. Hiertegen pleiten de onderzoeken van Williams (1962) en Ouellet (1969), die tijdens maximale inspanningsproeven waarnamen, dat de maximale zuurstofopneming later werd bereikt dan het maximale hartminuutvolume. Wyndham e.m. (1969) nam hetzelfde waar ten aanzien van de polsfrequentie. Cerretelli e.m. (1964) zag bij proeven met honden, dat het maximale hartminuutvolume werd bereikt bij een zuurstofopneming van ongeveer 70% van de maximale zuurstofopneming.

Omtrent de mogelijkheid van stoornissen in de micro-circulatie tijdens zware belastingen zijn weinig en veelal tegenstrijdige mededelingen gedaan, (o.a. Doll 1968 en Stainsby 1966).

Groeiende zekerheid bestaat echter over de doorslaggevende rol, die de bij de celademhaling betrokken enzymen ten aanzien van de maximale zuurstofopneming spelen. Hierop werd reeds in hoofdstuk 2, paragraaf 2.6, uitvoerig ingegaan.

8.5 Bespreking.

Hoe moeten nu de door ons vastgestelde dalingen van de arteriële zuurstofspanning en de klinisch waargenomen cyanose in het licht van onze eigen waarnemingen en van bovenstaande literatuurgegevens worden verklaard? De cyanose alleen zou theoretisch kunnen berusten op een verminderde doorbloeding van huidcapillairen met stase van zuurstofarm bloed ten gevolge van een gewijzigde verdeling van bloed over het totale vaatbed. Zoals gezegd, ging de cyanose echter gepaard met daling van de arteriële zuurstofspanning, hetgeen tegen deze constructie pleit.

Daling van de P_{ao_2} in een mate zoals dat bij proefpersoon H.K. optrad, doet sterk denken aan de mogelijkheid van een in rust niet waarneembare rechts-links shunt.

De bij de andere proefpersonen vastgestelde dalingen waren veel minder imposant. Wij menen, dat twee factoren een mogelijke verklaring voor de vastgestelde dalingen van de P_{ao_2} kunnen zijn.

Allereerst is het stijgende ademequivalent bij zware belastingen (fig. 5.5) een aanwijzing, dat in deze fase van de inspanningsproeven tengevolge van een ongelijkmatige alveolaire ventilatie het ventilatoire rendement verslechtert. Men moet zich bij deze interpretatie realiseren, dat er slechts weinig en veelal controversiële gegevens over het ventilatoire rendement tijdens zware inspanningsproeven bekend zijn, o.a. Bouhuys (1956) en Rusher (1970). Bovendien dient hyperventilatie tijdens zware lichamelijke inspanning niet alleen voor het in stand houden van een goede oxygenatie, doch tevens ter correctie van de zich ontwikkelende metabole acidose.

Het tweede belangrijke punt is de bij onze experimenten vastgestelde schommeling in het zuurstofgehalte van de spirometer. De hierdoor ontstane verandering in de alveolo-arteriële gradient voor zuurstof zal bij submaximale belastingen geen grote consequenties hebben, doch kan bij maximale belastingen waar het cardiorespiratoire apparaat in een "grensgebied" functioneert, de druppel zijn die de emmer doet overlopen. Deze ongunstige invloed op de diffusiecapaciteit voor zuurstof kan in de laatste fase van de inspanningsproef verantwoordelijk zijn geweest voor de vastgestelde hypoxemie.

8.6 Samenvattende conclusies.

In hoofdstuk 8 werd getracht een oplossing te vinden voor de bij een aantal, van de in hoofdstuk 5 besproken zijnde, experimenten vastgestelde cyanose.

Tijdens de trapsgewijs toenemende belasting werd bij 10 proefpersonen een analyse van de arteriële bloedgasen verricht. Tevens werd door middel van een capnogram het eindexpiratoire koolzuurgehalte gemeten. Bij twee experimenten werden tijdens de trapsgewijs toenemende belasting metingen van het zuurstofgehalte in het inspiratoire gedeelte van het spirometercircuit verricht. De resultaten van deze experimenten waren de volgende:

- a. drie minuten voor het breekpunt werd in het arteriële bloed een zuurstofspanning gemeten, die in de tien experimenten varieerde tussen 115 mmHg en 47 mmHg.
- b. de daling van de gemiddelde zuurstofspanning kort voor het breekpunt ging gepaard met een excessief sterke stijging van het gemiddelde ademminuutvolume en het gemiddelde melkzuurgehalte.
- c. de daling van de arteriële zuurstofspanning en de excessief sterke stijging van het ademminuutvolume en het melkzuurgehalte hielden geen verband met de temperatuurstijging, die tussen het moment van starten en het breekpunt in de spirometer plaats vond.
- d. bovendien trad er tijdens de experimenten geen stijging van het koolzuurgehalte in de uitademingslucht op.
- e. tijdens twee inspanningsproeven werden schommelingen in het zuurstofgehalte van het inspiratoire gedeelte van het spirometercircuit geregistreerd, die in het meest ongunstige geval een kunstmatige situatie creëerde die te vergelijken viel met arbeidsomstandigheden op 2000 meter hoogte.

Deze resultaten en die uit hoofdstuk 5 in overweging nemende, komt men tot de volgende conclusies:

1. Bij de door ons gehanteerde maximale inspanningsproef wordt met grote waarschijnlijkheid de klinisch vastgestelde cyanose veroorzaakt door een daling van de arteriële zuurstofspanning.

2. De kort voor het breekpunt oplopende ademequivalenten (hoofdstuk 5) kunnen berusten op een bij maximale belasting optredende verslechtering van het ventilatoire rendement.
3. Bij de stoornissen in de oxygenatie spelen de vastgestelde schommelingen in het inspiratoire gedeelte van de spirometer een niet te verwaarlozen rol.

DE VOORSPELLENDE WAARDE VAN DE SUBMAXIMALE INSPANNINGSPROEF TEN AANZIEN VAN DE MAXIMALE BELASTBAARHEID

9.1 Inleiding.

De directe aanleiding tot het opzetten van dit onderzoek vormde het gemis aan betrouwbare criteria voor de begeleiding en de selectie van raceroeiers. Men moet zich bij het onderzoeken van de geschiktheid voor raceroeien met een laboratoriumproef van een aantal punten rekenschap geven. Op de eerste plaats laat de lichamelijke conditie zich niet door een hartfrequentie of door een melkzuurgehalte weergeven. Bovendien vereist een oplopende belasting op een fietsergometer niet dezelfde mechanische arbeid als raceroeien. Toch neemt men in het algemeen aan, dat een met de fietsergometer verkregen belasting een zodanige integrale activering van spiermassa bewerkstelligt, dat het zuurstoftransporterende vermogen optimaal wordt belast en een situatie wordt benaderd, die met veel andere vormen van zware fysieke arbeid kan worden vergeleken.

In hoofdstuk 4, paragraaf 1d en 2e, is uiteengezet, om welke redenen en op welke wijze de betekenis van een submaximale inspanningsproef werd nagegaan.

Onderzocht werd in hoeverre met een submaximale inspanningsproef een indruk kon worden verkregen van de maximaal leverbare uitwendige arbeid op de fietsergometer en in welke mate de resultaten van de submaximale inspanningsproef correleerden met de roeiprestaties.

9.2 Resultaten.

9.2.1 De submaximale inspanningsproef en de maximaal leverbare arbeid op de fietsergometer.

- a. De voorspellende betekenis van de submaximale inspanningsproef ten aanzien van de maximaal leverbare uitwendige arbeid op de fietsergometer.

Uit tabel 9.1 blijkt, dat er in de door ons gebruikte proefopstelling, behalve ten aanzien van de $\dot{V}O_2$ en de $\dot{V}E$, tussen meerdere bij 160 watt gemeten parameters en de op de fietsergometer

geleverde arbeid een significante correlatie bestaat. Deze significantie is echter niet voor alle parameters even hoog. In de verdere besprekingen zal als afspiegeling van de geleverde uitwendige arbeid de totale belastingsduur worden gehanteerd. De correlatie tussen de in tabel 9.1 weergegeven parameters en de totale belastingsduur blijkt voor de hartfrequentie het sterkste te zijn. Het spreidingsdiagram in figuur 9.1 laat zien, hoe nauw deze relatie is. Ook voor de $\dot{V}O_2$ (breekpunt) en de berekende maximale zuurstofopneming is de correlatie met de totale belastingsduur (d.w.z. de geleverde uitwendige arbeid) significant, resp. $r = 0,8945$, $p < 0,001$ en $r = 0,6700$, $p < 0,001$.

tabel 9.1

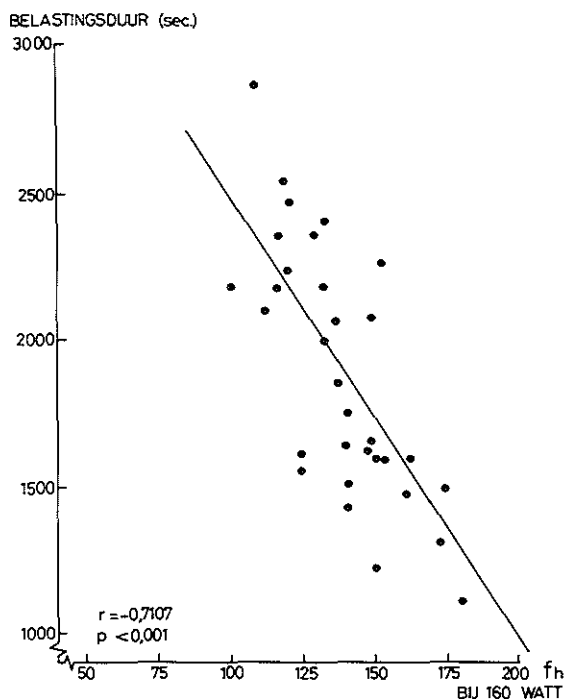
Correlatie tussen de parameters bij 160 watt en de totale belastingsduur.

	r - waarde	p - waarde
polsdruk	- 0,5268	$0,001 < P < 0,01$
hartfrequentie	- 0,7107	$P < 0,001$
Hart Werk Index	- 0,5746	$P < 0,001$
melkzuur	- 0,6879	$P < 0,001$
ademminuutvolume	- 0,5303	$0,001 < P < 0,01$
zuurstofpols	0,5084	$0,001 < P < 0,01$
ademhalingsfrequentie	- 0,2067	—
pH	0,1412	—

b. De submaxiale inspanningsproef, de totale belastingsduur en hun beïnvloeding door training.

Het bleek niet mogelijk, op grond van de waarnemingen bij een submaximale belasting vóór training, een uitspraak te doen over de onder invloed van training te verwachten verlenging van de belastingsduur. Geen der onderzochte factoren bleek bij 160 watt vóór training significant te correleren met de verlenging van de belastingsduur na training.

fig. 9.1
Het verband tussen
de hartfrequentie bij
160 watt en de totale
belastingsduur, in
32 experimenten.



Wel bestond er een significante correlatie tussen de na training geringere stijging van de hartfrequentie en de Hart Werk Index voor een gegeven belasting (160 Watt) en de verlenging van de belastingsduur, (tabel 9.2).

tabel 9.2

Correlatie tussen enerzijds het verschil van de Hart Werk Index en de hartfrequentie bij 160 watt vóór en na training en anderzijds de toename van de totale belastingsduur onder invloed van training.

verschil onderzoek I en II	r - waarde	p - waarde
Hart Werk Index	0,6114	$P < 0,01$
hartfrequentie	0,5406	$0,02 < P < 0,01$

c. Bespreking.

Daar de correlatiecoëfficiënt tussen de zuurstofopname bij het breekpunt en de totale belastingsduur groot is (0,8945), kon de totale belastingsduur als index voor de maximaal geleverde uitwendige arbeid worden gebruikt.

Wanneer men met een submaximale inspanningsproef een indruk wil krijgen omtrent de maximaal leverbare uitwendige arbeid op de fiets-ergometer, bieden feitelijk alleen de hartfrequentie en het melkzuurgehalte bij 160 watt een bruikbare informatie. De correlatiecoëfficiënten tussen de totale belastingsduur en de andere in tabel 9.1 weergegeven parameters zijn daarvoor te klein. De correlatiecoëfficiënten zijn klein door de grote standaarddeviaties van de betrokken parameters. De standaarddeviaties van de bestudeerde parameters werden bij hun bespreking in hoofdstuk 5 weergegeven.

Door de veelheid van onderzochte criteria en de relatief kleine serie experimenten was het niet mogelijk een multiële correlatiecoëfficiënt te berekenen.

De metingen bij een submaximale belasting laten vóór training geen uitspraak toe over de onder invloed van training te verwachten verlenging van de maximale belastingsduur.

Tenslotte is de significante correlatie tussen de verlenging van de belastingsduur en de geringere stijging van de hartfrequentie en de Hart Werk Index voor een gegeven belasting (160 watt) een aanwijzing, dat er tussen de verbetering van de circulatoire parameters en de vergroting van de maximaal leverbare uitwendige arbeid een causaal verband bestaat.

9.2.2 De voorspellende waarde van de submaximale inspanningsproef ten aanzien van de te verwachten roeiprestatie.

De uitvoering van de roeiexperimenten en de hiermede onderzochte groep werden in hoofdstuk 4,

paragraaf 1d en 2e, besproken.

Bij de bewerking werden de resultaten van twee herhalingsproeven voor ieder van de 9 proefpersonen gemiddeld.

a. De roeiprestaties.

Zoals reeds in hoofdstuk 4 uiteen werd gezet, konden door een aantal oorzaken van de oorspronkelijk 9 proefpersonen er slechts 5 driemaal aan de bootproeven deelnemen. Deze 5 roeiden in de herhalingsproeven de 1000 m. steeds sneller. (tabel 9.3).

Het melkzuurgehalte na 1000 m. roeien lag in het tweede experiment bij 3 roeiers hoger en bij 2 roeiers lager dan in het eerste experiment. Het melkzuurgehalte lag in het derde experiment bij 4 roeiers lager en bij 1 roeier hoger dan in het eerste experiment.

tabel 9.3

De tijd over en het melkzuurgehalte na 1000 m. roeien in de drie herhaalde bootproeven bij 5 proefpersonen.

	tijd	melkzuur
bootproef 1	318 sec. \pm 8	16,7 mmol/l \pm 0,5
bootproef 2	314 sec. \pm 5	17,7 mmol/l \pm 2,2
bootproef 3	309 sec. \pm 4	13,3 mmol/l \pm 1,2

Er bestond geen significante correlatie tussen het melkzuurgehalte na en de tijd over de 1000 meter. Ook bestond er geen samenhang tussen het lichaamsgewicht en de roeitijd of het melkzuurgehalte, (tabel 9.4).

tabel 9.4

Tabel van de onderlinge correlaties tussen het lichaamsgewicht, het melkzuurgehalte na 1000 meter roeien en de roeitijd over 1000 meter.

	melkzuurgehalte 1000 m.	tijd 1000 m.
melkzuurgehalte 1000 m.	—	- 0,1700 n.s.
tijd 1000 m.	0,1700 n.s.	—
gewicht	0,1040 n.s.	- 0,2600 n.s.

b. De inspanningsproeven:

In tegenstelling tot de bootproeven bleken er voor de 7 roeiers, die zich driemaal aan de submaximale belastingsproef onderwierpen, geen duidelijke trainingseffecten aantoonbaar te zijn, (tabel 9.5).

tabel 9.5

De gemiddelde metingen bij 160 watt in de drie submaximale inspanningsproeven bij 7 proefpersonen.

	inspanningspr. 1	inspanningspr. 2	inspanningspr. 3
hartfrequentie	121/min. ± 9	126/min. ± 10	125/min. ± 10
systolische bloeddruk	190 mmHg ± 24	172 mmHg ± 26	180 mmHg ± 24
polsdruk	117 mmHg ± 26	101 mmHg ± 23	120 mmHg ± 28
melkzuurgehalte	1,7 mmol/l $\pm 0,3$	1,8 mmol/l $\pm 0,4$	1,7 mmol/l $\pm 0,3$
ademminuut-volume	39,6 l $\pm 5,5$	42,0 l $\pm 6,8$	43,1 l $\pm 3,3$

c. Het verband tussen de resultaten van de submaximale belastingsproef en de roeiprestatie: (tabel 9.6).

Bij de beantwoording van deze vraag werden de resultaten van de twee eerste herhalingsproeven voor ieder van de 9 proefpersonen gemiddeld. Van de onderzochte criteria bleken er vier significant te correleren met de tijd over de 1000 m. Deze zijn: de systolische bloeddruk, de polsdruk, de Hart Werk Index, en de berekende maximale zuurstofopneming, (fig. 9.2 t/m 9.5). Voor de hartfrequentie (fig. 9.6) was het verband met de tijd over de 1000 m. net niet statistisch significant.

Geen der gemeten grootheden correleerde significant met het melkzuurgehalte na 1000 m. roeien.

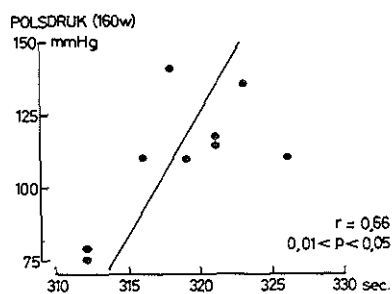


fig. 9.3
Het verband tussen de polsdruk bij een belasting van 160 watt en de tijd over 1000 m. roeien.

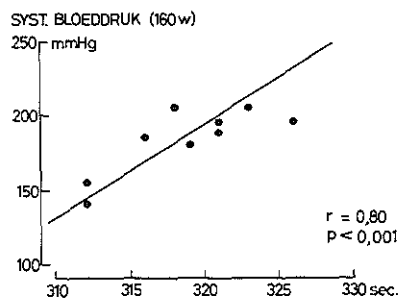


fig. 9.2
Het verband tussen de systolische bloeddruk bij een belasting van 160 watt en de tijd over 1000 m. roeien.

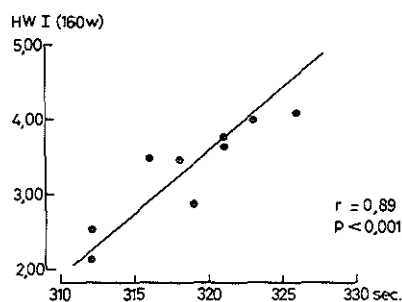


fig. 9.4
Het verband tussen de Hart Werk Index bij een belasting van 160 watt en de tijd over 1000 m. roeien.

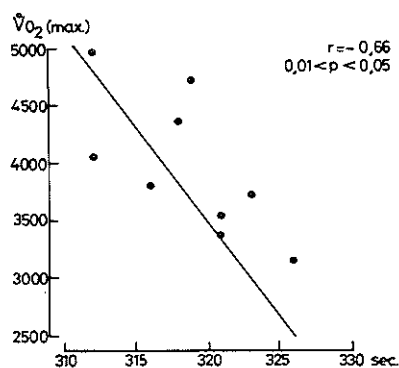
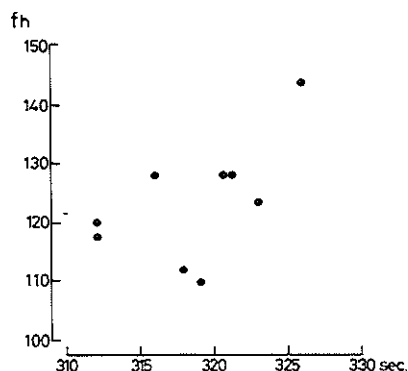


fig. 9.5
Het verband tussen de berekende maximale zuurstofopneming ($\dot{V}O_2 \text{ max.}$) en de tijd over 1000 m. roeien.

fig. 9.6
Het verband tussen de hartfrequentie (f_h) bij een belasting van 160 watt en de tijd over 1000 m. roeien.



tabel 9.6

Correlaties tussen de metingen bij 160 watt en de tijd over 1000 m. roeien.

	r - waarde	p - waarde
systolische bloeddruk	0,80	$P < 0,01$
polsdruk	0,66	$P < 0,05$
Hart Werk Index	0,89	$P < 0,001$
berekende maximale zuurstofopneming	0,66	$0,01 < P < 0,05$
hartfrequentie	0,57	
ademvolume	-0,45	
melkzuurgehalte	0,38	
ademfrequentie	0,33	
ademminuutvolume	0,06	—
zuurstofopneming	0,41	—
lichaamsgewicht	-0,26	—

d. Bespreking:

• Alhoewel het melkzuurgehalte bij het breekpunt niet volledig representatief is voor de mentale hardheid, wijst het ontbreken van deze correlatie er toch wel op, dat mentale hardheid en het lichaamsgewicht in de door ons onderzochte groep niet de voornaamste bepalende factoren bij de roeiresultaten zijn.

Een viertal biologische parameters bleken significant te correleren met de tijd, waarin een afstand van 1000 meter kon worden geroeid. Een berekening van een multiële correlatiecoëfficiënt van deze parameters was niet mogelijk, omdat de onderzochte groep hiervoor te klein was. Door deze waarnemingen wordt de indruk gevestigd, dat metingen van de systolische bloeddruk, de polsdruk en de Hart Werk Index tijdens een submaximale inspanningsproef en de met behulp van deze metingen berekende maximale zuurstofopneming een goede indruk geven van de te verwachten roei-prestatie.

Opvallend is, dat juist de circulatoire parameters en niet de metingen van de ventilatie een aanwijzing vormen voor de te verwachten roei-prestatie. Men kan zich dan ook afvragen, of de roei-prestatie niet voornamelijk door circulatoire factoren wordt bepaald.

Het in de derde serie experimenten lager liggen van het gemiddelde melkzuurgehalte na 1000 m. roeien kan berusten op een effect van training of op een minder goede motivatie. De onderzoeker, die de experimenten aan de wal volgde, had de indruk, dat het herhaalde afleggen van de afmattende 1000 m., bij de proefpersonen bij de derde serie experimenten aanmerkelijk minder weerklank vond, dan bij de beide eerste experimenten.

In overweging nemende, dat bij de derde serie experimenten de mentale instelling mogelijk minder was, is het niet uitgesloten, dat de gemiddelde tijd over de 1000 m. (309 sec.) nog beter had kunnen zijn.

De bevinding, dat bij de met een interval

van telkens zes weken uitgevoerde inspanningsproeven in tegenstelling tot de bootproeven géén duidelijke effecten van training konden worden vastgesteld, was verrassend. Dit kan berusten op de mogelijkheid, dat subtiele trainingseffecten met de door ons gebruikte onderzoekmethoden zijn gemist, of dat vooruitgang van de roeiprestaties grotendeels berust op verbetering van de roeitechniek en niet in belangrijke mate op verbetering van de lichamelijke conditie. Dit laatste lijkt ons het meest waarschijnlijk.

Daar wij bij de ongetrainde groep van 16 roeiers wél duidelijke effecten van training zagen, rijst de vraag, of de goede lichamelijke conditie die getrainde roeiers ontegenzeggelijk hebben, niet voornamelijk in de beginfase van hun trainingsprogramma door duur- en intervaltraining wordt verkregen. Enschedé (1960) heeft dit echter bij training voor hardrijden op de schaats niet met zekerheid kunnen vaststellen. Enschedé nam waar, dat aan het einde van het schaatsseizoen de belastingsproef langer en subjectief gemakkelijker kon worden volgehouden, dan aan het einde van de, aan het feitelijke schaatsseizoen voorafgaande, conditietraining. Ook zag hij echter, dat de geleidelijk geringere stijging van de hartfrequentie voor een gegeven belasting tijdens de periode van conditietraining, zich in het schaatsseizoen niet voortzette. Dit is in overeenstemming met de onderhavige laboratoriumproeven, waarmee in ons materiaal gedurende het actieve roeiseizoen geen belangrijke verbetering van de biologische parameters kon worden vastgesteld.

Samenvattende conclusies.

In dit hoofdstuk werd de waarde nagegaan van een submaximale inspanningsproef bij het verkrijgen van een indruk over het maximale prestatievermogen op de fietsergometer en over het prestatievermogen in de boot.

Voor het nagaan van de voorspellende waarde van de submaximale inspanningsproef ten aanzien van het

prestatievermogen op de fietsergometer werden de metingen van een aantal parameters bij 160 watt gecorreleerd met de totale belastingsduur op de fietsergometer.

Voor het met een laboratoriumproef verkrijgen van een indruk omtrent het prestatievermogen in de boot werden de individuele metingen van een aantal parameters bij 160 watt gecorreleerd met de tijd over en het melkzuurgehalte na 1000 meter roeien.

Deze bewerkingen leverden de volgende resultaten op:

a. De submaximale inspanningsproef en de maximaal leverbare arbeid op de fietsergometer.

De bij 160 watt gemeten polsdruk, hartfrequentie, Hart Werk Index, het melkzuurgehalte en het ademminuutvolume bleken een significant negatieve correlatie te hebben met de totale belastingsduur. Er bestond een positieve correlatie tussen de zuurstofpols bij 160 watt en de totale belastingsduur. De correlatiecoëfficiënt was het grootste voor de hartfrequentie en het melkzuurgehalte. (resp. $r = 0,7107$ en $r = 0,6879$).

De onder invloed van training geringere stijging van de hartfrequentie en de Hart Werk Index voor de onderzochte belasting (160 watt) correleerde met de verlenging van de belastingsduur, die onder invloed van training optrad.

b. De voorspellende waarde van de submaximale inspanningsproef ten aanzien van de te verwachten roei-prestatie.

De tijd waarin de 1000 meter in de driemaal met een interval van zes weken herhaalde proeven werd geroeid, verbeterde voor iedere roeier. De tijden waren gemiddeld: 318 sec. (bootproef 1), 314 sec. (bootproef 2) en 309 sec. (bootproef 3).

Het melkzuurgehalte was gemiddeld: 16,7 mmol/l (bootproef 1), 17,7 mmol/l (bootproef 2) en 13,3 mmol/l (bootproef 3).

In de onderzochte groep roeiers, die 1000 meter roeiden, bestond geen statistisch significant verband tussen het melkzuurgehalte, de roeitijd en het individuele lichaamsgewicht.

De driemaal met een interval van zes weken herhaalde inspanningsproeven lieten geen systematische trainingseffecten zien.

Er bestaat tussen vier, bij 160 watt gemeten, parameters een significante correlatie met de roeitijd over 1000 meter. Deze vier parameters zijn: de systolische bloeddruk, de polsdruk, de Hart Werk Index en de berekende maximale zuurstofopneming.

Op grond van deze waarnemingen kwamen wij tot de volgende conclusies:

1. De maximaal leverbare uitwendige arbeid op de fiets-ergometer laat zich enigermate voorspellen uit de metingen van enkele parameters bij een submaximale belasting. Deze parameters zijn in tabel 9.1 weergegeven. Daar de correlatiecoëfficiënten betrekkelijk klein zijn, mag uit het bovenstaande niet worden geconcludeerd, dat de maximale inspanningsproef volledig door een submaximale inspanningsproef kan worden vervangen.
2. De systolische bloeddruk, de Hart Werk Index, de polsdruk en de berekende maximale zuurstofopneming tijdens de submaximale inspanningsproef (160 watt) hebben een voorspellende betekenis ten aanzien van de te verwachten roeiprestatie. Zij kunnen als zodanig bij het verkrijgen van een indruk omtrent de individuele geschiktheid voor raceroeien worden gehanteerd.
3. De afwezige effecten van training bij de drie herhaalde series inspanningsproeven doen de vraag rijzen, of verbetering van de lichamelijke conditie niet uitsluitend door de, aan de intensieve boottraining voorafgaande, duur- en intervaltraining tot stand komt, en dat verbetering van de roeiprestaties voornamelijk berust op verbetering van de roeitechniek.

SAMENVATTING

De doelstelling van dit onderzoek was het nagaan van de effecten van roeitraining en het bepalen van de individuele geschiktheid voor het raceroeien. Tevens werd onderzocht welke factoren mogelijk verantwoordelijk konden zijn voor het staken van de maximale inspanningsproef. Hiertoe stelden wij ons de volgende vijf vragen:

1. In welke mate veranderen bij een groep gezonde studenten onder invloed van zware lichamelijke training de functie van hart en longen?
2. In welke mate en hoe snel veranderen fysiologische functies na het staken van intensieve training?
3. Zijn de resultaten van een gestandariseerde training voor iedere deelnemer dezelfde?
4. Om welke redenen wordt een lineair toenemende arbeidsbelasting afgebroken?
5. Zijn er betrouwbare selectiecriteria voor race-roeiërs?

Met herhaalde inspanningsproeven, gecombineerd met metingen van de longventilatie, de bloedcirculatie en de stofwisseling in de spier werd getracht deze vragen te beantwoorden.

In hoofdstuk 2 werden enkele aspecten van inspanningsfysiologie belicht. Deze bespreking viel mede op grond van de tijdens de experimenten aangetroffen problematiek uiteen in vier onderdelen, te weten:

1. Energieverbruik door spiercontractie.
2. Energieleverantie.
3. Zuurstoftransport.
4. Invloeden op de alveolaire zuurstofspanning.

Tijdens de contractie van een spier verschuiven het myosine en actine in de myofibrillen ten opzichte van elkaar. Bij deze verplaatsing wordt adenosine triphosfaat (ATP) en kreatine fosfaat verbruikt.

De energieleverantie vindt tijdens lichamelijke inspanning praktisch geheel plaats door middel van verbranding van koolhydraten.

Al naar gelang het karakter van de lichamelijke inspanning vereisen de energieleverende stofwisselingsprocessen zuurstof (aerobe stofwisseling) of verlopen via

chemische processen, waarbij pyrodruivenzuur wordt gereduceerd tot melkzuur (anaerobe stofwisseling). Van deze laatste vorm van stofwisseling wordt voornamelijk bij korte piekbelastingen gebruik gemaakt. Er ontstaat hierbij een zuurstofschuld. Het zuurstoftransport wordt door vijf factoren bepaald.

Deze zijn:

1. De cellulaire mogelijkheden tot extraheren van de beschikbare zuurstof.
2. Het zuurstofgehalte per volume eenheid bloed.
3. De hoeveelheid circulerend bloed per tijdseenheid.
4. De diffusie door de alveolo-capillaire membraan, en de ventilatie-perfusie ratio.
5. De longventilatie.

Ieder van deze vijf factoren kan in principe bepalend zijn voor de maximale hoeveelheid zuurstof, die kan worden opgenomen en kan worden geutiliseerd.

Op zeeniveau spelen in het algemeen veranderingen van de alveolaire zuurstofspanning tijdens inspanningsproeven geen rol van betekenis. Experimenten onder hypobare omstandigheden hebben duidelijk gemaakt, dat een geringe daling van het zuurstofgehalte van de geïnspireerde lucht tijdens zware lichamelijke arbeid door de gezonde mens wordt getolereerd zonder dat het zuurstofgehalte in het arteriële bloed daalt.

In hoofdstuk 3 werden de methoden van onderzoek besproken. De belasting werd opgelegd met behulp van een fietsergometer. Voor de metingen van de longventilatie werd gebruik gemaakt van de gesloten spirometrie. Er vonden onbloedige metingen plaats van de arteriële bloeddruk en de hartfrequentie. De chemische bepalingen omvatten: analyses van de arteriële bloedgassen, metingen van het melkzuurgehalte, de pH, het standaardbicarbonaatgehalte, het hemoglobinegehalte, het hematocriet en het totale eiwitgehalte in het plasma. Tijdens de experimenten werd continu de rectale lichaamstemperatuur gemeten. Vóór de experimenten werden de proefpersonen gewogen en gemeten. Uit de hiermede verkregen gegevens werden enkele afgeleide grootheden berekend. Deze zijn: het ademequivalent, de berekende maximale zuurstofopneming, de zuurstofpols en de Hart Werk Index.

In hoofdstuk 4 werden de proefopzet en de uitvoering van de proeven beschreven.

Voor het verkrijgen van inlichtingen over de effecten van training werden 16 gezonde studenten met een interval van zes maanden aan een maximale inspanningsproef onderworpen. In de tussenliggende periode volgden de proefpersonen een intensieve roeitruining. Zeven van de zestien roeiers konden zes maanden nadat de training was gestaakt nog voor een derde maal worden onderzocht.

Voor het bestuderen van de verschijnselen bij maximale belasting, d.w.z. bij het breekpunt, werd een groep van 10 proefpersonen onderzocht. Deze proefpersonen waren gezond en middelmatig getraind. Tenslotte werden van 9 oude-rejaars roeiers de resultaten van een submaximale inspanningsproef nog vergeleken met de roeiprestatie.

De uitvoering van de experimenten was als volgt: na een uitgebreid lichamelijk onderzoek en een electrocardiogram in rust onderwierpen de proefpersonen zich aan een trapsgewijs toenemende belasting op de fietsergometer. Gestart werd met een belasting van 80 watt. Iedere drie minuten werd de belasting 20 watt verzwaaard. Volgens een vast patroon werden tijdens de trapsgewijs toenemende belasting de reeds beschreven metingen van bloedcirculatie, longventilatie en spiermetabolisme verricht. De onderzochte proefpersoon bepaalde in principe zelf, wanneer hij de maximale inspanningsproef wenste te staken. Slechts wanneer zich een cyanose ontwikkelde, of wanneer zich in andere zin abnormale verschijnselen voordeden, werd de proefpersoon gedwongen de inspanningsproef te staken. Na het staken van het experiment werden de proefpersonen nog twaalf minuten op de fietsergometer geobserveerd. Op de hierboven beschreven wijze werden vóór en na training de volgende inlichtingen verkregen:

1. Iedere drie minuten: ademvolume, ademprequentie en zuurstofopname. Verder werden gemeten: de hartfrequentie, de bloeddruk en de rectale lichaamstemperatuur.
2. In rust, na 15 minuten arbeid, bij het staken van de arbeid en na "12 minuten herstel" werden het melkzuurgehalte, de pH, het standaardbicarbonaat, de P_{CO_2} , het hemoglobinegehalte, het hematocriet en metingen van het totale eiwitgehalte in het plasma uitgevoerd.

3. Uit 1 en 2 werden de reeds genoemde afgeleide grootheden berekend.

Bij het nagaan van de redenen, die aanleiding waren tot het beëindigen van de inspanningsproef werd eveneens de trapsgewijs toenemende belastingsproef gebruikt. Bij deze experimenten vond echter tevens een analyse van de arteriële bloedgassen, meting van het koolzuurgehalte van de uitademingslucht en enkele malen een meting van het zuurstofgehalte van de ingeademde lucht plaats.

Als submaximale inspanningsproef werd de trapsgewijs toenemende belasting tot 180 watt gebruikt.

De roeiprestatie werd beoordeeld door de tijd te meten nodig voor het roeien van een afstand van 1000 meter en bepalingen te doen van het melkzuurgehalte er na. De roeiexperimenten en de submaximale inspanningsproef vonden drie maal met een interval van zes weken plaats, onder vrijwel gelijke klimatologische omstandigheden.

In hoofdstuk 5 werden de in de onderzochte groep vastgestelde effecten van training besproken. Er werden drie fasen in de inspanningsproef beoordeeld. Deze waren: de submaximale belastingen 160 watt en 200 watt, de maximale belasting (het breekpunt) en de herstelfase. De waargenomen trainingseffecten waren in de herstelfase gering. Bij de andere fasen van de inspanningsproef konden wél trainingseffecten worden waargenomen.

Het ademminuutvolume was bij de onderzochte belastingen nà training ongeveer 35% lager dan vóór training. Het maximaal ademminuutvolume was nà training 25% hoger dan vóór training. De verklaring voor beide waarnemingen moet worden gezocht in een verbetering van het ventilatoire rendement en een bereidheid om een groter kwantum van het maximaal ademminuutvolume tijdens maximale lichamelijke inspanning te investeren.

De zuurstofopneming bij de onderzochte belastingen was nà training lager dan vóór training. Hierbij speelt waarschijnlijk een verbetering van het nuttig effect van de spierarbeid een rol.

De berekende maximale zuurstofopneming was nà training circa 30% hoger. De bij het zuurstoftransport betrokken functies zijn onder invloed van training dus aanmerkelijk verbeterd.

Door een betere verdeling van het circulerend bloedvolume, een toegenomen cellulaire zuurstofextractie en/of een verbetering van het nuttig effect van spierarbeid zijn na training bij de onderzochte belastingen de hartfrequentie en de Hart Werk Index lager dan vóór training. De maximale hartfrequentie en Hart Werk Index stijgen onder invloed van training niet. De na training minder gedaalde pH en het ten opzichte van vóór training lagere melkzuurgehalte in het gearterialiseerde capillaire bloed wijzen erop, dat na training de anaerobiosis geringer is.

Zowel vóór als na training vindt tijdens de inspanningsproef hemoconcentratie plaats. Bij de submaximale belastingen is deze hemoconcentratie niet statistisch significant verschillend. Op grond van de drie onderzochte parameters kan gesteld worden, dat de waargenomen discrepantie tussen de verwachte en de vastgestelde mate van indikking berust op veranderingen in de plasmarandzone en lekkage van serumeiwit in de spiercapillairen.

Onder invloed van training is er een aanzienlijke toename van de maximaal leverbare uitwendige arbeid. De totale belastingsduur bedroeg vóór training gemiddeld 26 min. 22 sec. en na training 36 min. 21 sec.

Resumerende is op grond van onze waarnemingen en de gegevens uit de literatuur gebleken, dat de effecten van training in het algemeen gekenmerkt zijn door:

1. verbetering van het rendement van de ventilatie.
2. een gunstiger verdeling van het circulerend bloedvolume, een toegenomen cellulaire zuurstofextractie en/of een verbetering van het mechanisch rendement van de spierarbeid, waardoor de zuurstofbehoefte en de verrichte hartarbeid voor een gegeven arbeidsbelasting na training vermindert.
3. dezelfde oorzaken als onder 2 vermeld, en een toegenomen capillarisatie van spieren doen de anaerobiosis tijdens lichamelijke inspanning verminderen.
4. het grotere ademminuutvolume en het hogere melkzuurgehalte na training bij het breekpunt zijn aanwijzingen voor een door training ontwikkelde grotere mentale hardheid.

In hoofdstuk 6 werd de teruggang van de trainingseffecten, zes maanden na het staken van de training, nagegaan.

Hiertoe werden de resultaten van de driemaal met een interval van zes maanden uitgevoerde inspanningsproeven met elkaar vergeleken.

De metingen bij submaximale belastingen van de zuurstofopneming, het melkzuurgehalte en het ademminuutvolume, wijzen erop, dat zes maanden na het staken van de training de aanvankelijk bestaande trainingseffecten praktisch geheel verdwenen zijn.

De resultaten bij het breekpunt zijn zes maanden na het staken van de training zelfs slechter dan vóór training. Dit "rebound fenomeen" wordt waarschijnlijk door het inactieve leefpatroon in de vakantie en de zomermaanden volgende op het zware raceseizoen bepaald.

De bij één der roeiers vóór training vastgestelde afwijkingen in het spirogram spelen waarschijnlijk een rol bij het maximale prestatievermogen op de fietsergometer.

In hoofdstuk 7 werden de kwantitatieve verschillen in de effecten van training en hun onderlinge verband nagegaan. Hiertoe werd voor iedere roeier met behulp van ventilatoire, circulatoire en metabole parameters vóór en na training een kwantitering van de lichamelijke conditie en de mentaliteit verkregen.

Het onderlinge verband tussen de waardering op lichamelijke conditie en mentaliteit werd vergeleken en beiden werden bestudeerd in hun relatie tot de vroegere roeierervaring, het lichaamsgewicht en de indruk van de roeicoach.

Met deze bewerking van de beschikbare gegevens bleken alle roeiers conditioneel te verbeteren. Dit was voor de mentale hardheid bij 14 van de 16 roeiers het geval. De vroegere roeierervaring doet in positieve zin nog zijn invloed gelden op de bestaande mentale hardheid vóór de trainingsperiode. Roeitraining kweekt zowel mentale hardheid als verbetering van de lichamelijke conditie aan. De beoordeling door de roeicoach wordt voornamelijk door de indruk omtrent de lichamelijke conditie gevormd. De effecten van training hangen in de onderzochte groep niet samen met de voorafgaande roeierervaring. Slechts vóór training blijken de resultaten van de inspanningsproef duidelijk met het individuele lichaamsgewicht verband te houden.

In hoofdstuk 8 werd nader ingegaan op de mogelijke oorzaken van de bij enkele experimenten tijdens maximale belasting vastgestelde cyanose. Hiertoe werden kort vóór en bij het breekpunt bij 10 proefpersonen bloedgasanalyses verricht. Deze 10 proefpersonen ondergingen een inspanningsproef, die analoog was aan die welke bij de overige experimenten werd gebruikt.

Bij enkele van deze experimenten werd kort vóór het breekpunt een daling van de arteriële zuurstofspanning vastgesteld. Dit ging gepaard met een excessief sterke stijging van het melkzuurgehalte en het ademminuutvolume. De daling van de arteriële zuurstofspanning, die - op grond van literatuurgegevens - bij maximale inspanningsproeven op zee-niveau als ongewoon moet worden beschouwd, kan mogelijk berusten op een inherent aan de proefopstelling zijnde verslechtering van het ventilatoire rendement. Tevens is het waarschijnlijk, dat schommelingen in het zuurstofgehalte van het inspiratoire gedeelte van het ventilatiecircuit mede verantwoordelijk zijn geweest voor de bij maximale belasting vastgestelde stoornissen in de oxygenatie.

In hoofdstuk 9 werd de waarde van de submaximale inspanningsproef bij het bepalen van de maximaal leverbare uitwendige arbeid op de fietsergometer nagegaan. Tevens werd in dit hoofdstuk de voorspellende betekenis van de submaximale inspanningsproef ten aanzien van een roeiprestatie onderzocht. De resultaten van de, tijdens het roeiseizoen, met een interval van zes weken uitgevoerde submaximale inspanningsproef werden vergeleken met de hoogte van het melkzuurgehalte na 1000 meter roeien en met de tijd waarin deze afstand werd afgelegd.

Van de metingen bij 160 watt zijn de hartfrequentie en het melkzuurgehalte de twee parameters, die het meeste inzicht geven in de maximaal leverbare uitwendige arbeid op de fietsergometer. De grootte van de correlatie coëfficiënten is echter van dien aard, dat niet gesteld kan worden, dat de maximale inspanningsproef volledig door een submaximale inspanningsproef kan worden vervangen.

Gedurende de periode, waarover de bootproeven zich uitstrekten, werd de 1000 meter door alle roeiers steeds sneller afgelegd. Het melkzuurgehalte na 1000 meter roeien

daarentegen laat in de drie herhalingsonderzoekingen geen vast patroon zien.

Enkele circulatoire parameters, zoals de systolische bloeddruk, de Hart Werk Index, de polsdruk en de berekende maximale zuurstofopneming blijken, indien zij gedurende de inspanningsproef bij 160 watt worden gemeten, een voorspellende waarde te hebben ten aanzien van de benodigde tijd voor het roeien van een afstand van 1000 meter.

De drie herhaalde inspanningsproeven vertoonden in tegenstelling tot de bootexperimenten geen effecten van training. Het is zeer wel mogelijk, dat de lichamelijke conditie tijdens het roeiseizoen geen verbetering meer ondergaat, doch dat de verbeterde roeiprestaties op verbetering van de roeitechniek berusten.

Op grond van de in drie jaar tijds bij dit onderzoek en de medische begeleiding van de onderhavige groep raceroeiers opgedane ervaring, kunnen nog enkele algemene opmerkingen worden gemaakt.

1. Het elders in het kader van een algemene sportkeuring uitgevoerde lichamelijke onderzoek is in de praktijk niet afdoende gebleken. Van de door ons in drie jaar tijds onderzochte 25 roeiers werden bij 3 roeiers min of meer ernstige lichamelijke afwijkingen vastgesteld. Twee hiervan hadden een cardiologische aandoening. Eén bleek een goedaardige bottumor te hebben.
2. Enkele malen werd tijdens de rustperiode voorafgaande aan de inspanningsproef (30 minuten) een licht verhoogde diastolische bloeddruk gemeten. Bij de betrokkenen werd bij röntgenologisch borstonderzoek geen vergroting van de hartconfiguratie vastgesteld. Ook waren er geen electrocardiografische tekenen van een overbelasting van de linker ventrikel. Bovendien was het reactiepatroon van de bloeddruk tijdens de inspanningsproef volkomen identiek aan die van de andere proefpersonen. Het verdient daarom aanbeveling om, alvorens een sportbeoefenaar op grond van een verhoogde bloeddruk af te keuren, zicheerst omtrent zijn arteriële bloeddruk tijdens lichamelijke inspanning te oriënteren.
3. Het is mijn ervaring, dat er bij een onverklaarbare teruggang of achterblijven van de roeiprestaties zelden lichamelijke verschijnselen van overtraining in de zin van

extrasystolie bij inspanning, veranderingen van de bloeddruk of daling van het lichaamsgewicht, kunnen worden vastgesteld. Behalve dat roeitechnische factoren hierbij een rol spelen, werd meerdere malen een duidelijke samenhang met studieproblemen of sociale problemen van andere aard gesignaleerd.

4. De in drie jaar vastgestelde blessures bestonden slechts uit rugklachten van myogene aard, tendovaginitiden en geïnfecteerde blaren. Deze aandoeningen traden voornamelijk bij eerstejaars roeiers op. Hen werd geadviseerd, de roeitraining minder intensief voort te zetten. Deze aangepaste training had veelal een bevredigend effect op de klachten en voorkwam een sterke achteruitgang van de roeiconditie. Van de zes uitvallers uit de oorspronkelijke groep van 22 roeiers waren er echter toch twee bij wie het persisteren van de rugklachten aanleiding was de training te staken.
5. Twee roeiers kregen gedurende het roeiseizoen in verband met hun overgewicht een calorie-arme, eiwit- en koolhydraatrijke voeding voorgeschreven. Zowel de betrokkenen zelf als hun coaches waren van mening, dat hiervan tijdens de dagelijkse training geen hinder werd ondervonden, ondanks het feit, dat de gewichtsafname duidelijk was.
6. Bij het vervolgen van de lichamelijke conditie van een grotere groep roeiers is de toepassing van een submaximale inspanningsproef met metingen van de hartfrequentie en het melkzuurgehalte in het gearterialiseerde capillair bloed goed bruikbaar gebleken bij het bepalen van het lichamelijke prestatievermogen. Het zijn vooral de bij een submaximale inspanningsproef gemeten systolische bloeddruk en de Hart Werk Index, die een indruk geven van de geschiktheid voor raceroeien.
7. Alvorens bij maximale inspanningsproeven gebruik te maken van een gesloten spirometer, moet men zich vergewissen, dat het zuurstofgehalte in het inspiratoire gedeelte van de spirometer voortdurend 20,9% bedraagt.
8. Wanneer een roeier van plan is om na de vakantie opnieuw in training te gaan, verdient het aanbeveling om - gezien de aanzienlijke teruggang van de lichamelijke conditie in de trainingsloze periode - de betrokkene te adviseren gedurende deze tijd zijn lichaamsgewicht constant te houden en andere

vormen van sport dan roeien te gaan beoefenen. De sporten, die dan het meeste tot vergroting van de maximale zuurstofopneming bijdragen zijn zwemmen en atletiek.

THE EXERTION TEST AND ROWING-TRAINING

Summary of the chapters.

The purpose of this study was to trace the effects of rowing-training and to determine the individual capability for race-rowing. At the same time investigations were done as to decide what factors might be responsible for breaking off the maximum-exertion test. For this we put ourselves these five questions:

1. to what extent do the function of heart and lungs in a group of healthy students change under the influence of strenuous physical training?
2. to what extent and how fast do physiological functions change after breaking off intensive training?
3. are the results of a standardized training the same for every participator?
4. for what reasons is a linearly increasing workload broken off?
5. are there any reliable selection criteria for racing-rowers?

An attempt was made to answer these questions by repeated exertion tests combined with determinations of the lung ventilation, the blood circulation and the metabolism in the muscle.

In chapter 2 some aspects of exercise-physiology were discussed. Partly as a consequence of the total number of problems met with during the experiments, this discussion fell apart into four sub-divisions, viz.:

1. expenditure of energy through muscle contraction;
2. energy supply;
3. oxygen transport;
4. influences on the alveolar oxygen tension.

During the contraction of a muscle the myosine and actine in the myofibrills are shifted with respect to each other. Adenosine triphosphate (ATP) and creatine phosphate are used up in this shift.

The energy supply takes almost fully place by means

of combustion of carbo-hydrates during physical exercise.

Depending on the nature of the physical exercise, the energy-supplying processes of metabolism require oxygen (aerobic metabolism) or take place by way of chemical processes, in which pyruvic acid is reduced to lactic acid (anaerobic metabolism). This latter form of metabolism is especially made use of in short-peak exercise. An oxygen-debt arises at the same time. The oxygen transport is determined by these five factors:

1. the cellular possibilities to extract the available oxygen;
2. the oxygen-content per volume-unity of blood;
3. the amount of circulating blood per time-unity;
4. the diffusion through the alveolo-capillar membrane and the ventilation-perfusion ratio;
5. the lung-ventilation.

In principle each of these five factors may be conditioning for the maximum amount of oxygen which can be taken in and utilized.

Generally changes of the alveolar oxygen tension during exertion-tests do not play a significant part at sea-level. Experiments under hypobar circumstances have made it clear that a slight decrease of the oxygen-content of the inhaled air during strenuous physical exercise is tolerated by a healthy human-being without any drop of the oxygen-content in the arterial blood.

In chapter 3 the methods of this study were discussed. The work-load was given by means of a bicycle-ergometer. The closed spirometry was used for the determination of the lung-ventilation. Apart from this bloodless determination of the arterial bloodpressure and the heart-frequency were made. The chemical determinations included: analyses of the arterial blood-gases, determinations of the lactic acid, the pH, the standard bicarbonate, the hemoglobin concentration, the hematocrit and the total protein content in the plasma. Throughout the experiments the rectal temperature of the body was taken. The testees were weighed and measured before the experiments. From these data some derived quantities were calculated. These are the ventilation equivalent, the calculated maximal oxygen uptake, the

oxygen pulse and the Heart Work Index.

In chapter 4 the design and the execution of the tests were described.

In order to obtain information about the effects of training, sixteen healthy students were subjected to a maximum-exertion test with a six months' interval. During the period in between the testees attended an intensive rowing-training. It was possible to examine seven of the sixteen rowers for a third time six months after the training had been stopped.

For the study of the phenomena at maximum performance (breaking-point) a group of ten testees was examined. These testees were healthy and moderately trained. Finally the results of the submaximum-exertion test of nine senior students were compared with the rowing-achievements.

The execution of the experiments was as follows: after an elaborate physical examination and an electrocardiogram at rest the testees submitted to a step-by-step increasing work-load on the bicycle-ergometer. A start was made with a work-load of 80 Watt. Every three minutes 20 Watt was added to the initial work-load. The afore-described determinations of blood-circulation, lung-ventilation and muscle-metabolism were made according to a set pattern during the step-by-step increasing work-load. In principle the testee under examination personally decided when he wished to break off the maximum-exertion test. Only when a cyanosis developed, or when otherwise abnormal phenomena arose, the testee was ordered to break off the exertion test. After breaking-off the experiment the testees were observed on the bicycle-ergometer for another twelve minutes. As described earlier on the following information was obtained before as well as after the training:

1. every three minutes: tidal volume, respiratory frequency and oxygen uptake.
Apart from these the heart frequency, the blood pressure and the rectal temperature of the body were determined;
2. at rest, after exercising for fifteen minutes, at stopping the work-load and after 'twelve minutes recovery', determinations were made of the lactic acid, the pH, the standard-bicarbonate, the P_{CO_2} ,

- the hemoglobin concentration, the hematocrit and the total protein content in the plasma;
- 3. the derived quantities mentioned before were calculated from 1 and 2.

In checking the reasons which called for breaking-off the exertion test, the step-by-step increasing work-load was used as well. At the same time however, an analysis was made of the arterial blood gases; the carbon dioxide content of the expiratory air and several times the oxygen content of the inhaled air were measured as well.

As submaximum-exertion test the step-by-step increasing work-load up to 180 Watt was used.

The rowing achievement was judged by registering the time necessary for rowing a distance of 1000 metres and by determining the lactic acid concentration afterwards. The rowing experiments and the submaximum-exertion test took place three times with a six weeks' interval under virtually identical climatological circumstances.

In chapter 5 the training effects determined in the groups tested were discussed.

The training effects were studied at two submaximum work-loads, at maximum work-load and in the recovery stage. The stages in the step-by-step increasing work-load used for comparison, are:

1. the third minute of 160 Watt work-load;
2. the third minute of 200 Watt work-load;
3. maximum work-load (breaking-point);
4. the third minute after breaking-off the work-load ('3 minutes' recovery');
5. the twelfth minute after breaking-off the work-load ('12 minutes' recovery').

For '3 and 12 minutes' recovery' the respective drop - percentages were calculated in respect of the results at breaking-point.

a. S u b m a x i m u m w o r k - l o a d :

tidal volume: the increase during the step-by-step increasing work-load is less after the training. The difference is not statistically significant for 160 and 200 Watt.

respiratory frequency: the increase during the step-by-step increasing work-load is less after the training. The difference is not statistically significant for 160 and 200 Watt.

respiratory minute volume: the increase during the step-by-step increasing work-load is less after the training. The difference is statistically significant for 160 and 200 Watt and averages 25%.

oxygen uptake: the increase during the step-by-step increasing work-load is less after the training. The difference is statistically significant for 160 and 200 Watt and averages 7%.

calculated maximal oxygen-uptake: before and after the training this averages respectively 3.0 and 3.9 litres. This difference is statistically significant.

ventilation equivalent: the increase during the step-by-step increasing work-load is less after the training. The difference is not statistically significant for 160 and 200 Watt.

heart frequency: the increase during the step-by-step increasing work-load is less after the training. The difference is statistically significant for 160 and 200 Watt and averages 15%.

arterial blood-pressure: the arterial blood-pressure during the increasing work-load is not clearly different before and after the training.

Heart Work Index: The increase during the step-by-step increasing work-load is less after the training. The difference is statistically significant for 160 and 200 Watt and averages 19%.

oxygen-pulse: the increase during the step-by-step increasing work-load is more after the training. The difference is statistically significant for 160 and 200 Watt and averages 12%.

lactic acid: at 160 Watt the lactic acid is 44% lower than before the training. This difference is statistically significant.

pH: at 160 Watt the pH amounts to 7.36 before the training and to 7.39 after the training. This difference is statistically significant.

Pco₂: at 160 Watt this is not different before and after the training.

standard bicarbonate: at 160 Watt this is not significantly different before and after the training.

hemoglobin, hematocrit, total protein content: during the step-by-step increasing work-load the increase of these three parameters is more after the training than before it as far as the hemoglobin and the total protein content are concerned. However, this difference is not statistically significant.

b. Maximum work-load :

tidal volume: there is no difference in the tidal volume at breaking-point before and after the training.

respiratory frequency: the difference in respiratory frequency before and after the training is statistically significant and amounts to 20%. Before and after the training the respiratory frequency is respectively 29/min. and 35/min.

respiratory minute volume: the difference in respiratory minute volume before and after the training is statistically significant and amounts to 25%. Before and after the training respiratory minute volume averages respectively 87.7 and 110.3 litres.

oxygen uptake: the difference in oxygen uptake at breaking-point before and after the training is statistically significant and amounts to 17%. Before and after the training the oxygen uptake at breaking-point amounts to respectively 2772 ml. and 3239 ml.

ventilation equivalent: before and after the training there is no significant difference at the breaking-point as far as the ventilation equivalent is concerned.

heart frequency: before and after the training the heart frequency is respectively 183/min. and 189/min. This difference is not statistically significant.

arterial blood-pressure: before and after the training the arterial blood-pressure at breaking-point is only slightly different. This difference is not statistically significant.

Heart Work Index: the Heart Work Index averages 5.8 before and 6.3 after the training. This difference is not statistically significant.

oxygen pulse: the difference before and after the training is statistically significant as far as the oxygen pulse is concerned. The difference amounts to 13%.

lactic acid: the lactic acid is 18% higher after the training than before it. However, this difference is not statistically significant. At breaking-point the lactic acid amounts to 7.4 mmol/l. before and to 8.8 mmol/l. after the training.

pH: before and after the training there is no difference as far as the pH is concerned. The pH averages 7.28 in both experiments.

Pco₂: at breaking-point the Pco₂ is lower after than before the training. This difference is not statistically significant. The Pco₂ averages 38 mmHg before and 34 mmHg after the training.

standard bicarbonate: the difference is not statistically significant for this parameter. The difference before and after the training is 5%.

hemoglobin, hematocrit and total protein content: the increase in respect of the content when at rest averages 7% before the training. The increase for these three parameters averages 11% after the training.

total duration of the exertion-test: this increases for fifteen of the sixteen rowers under the influence of the training. The duration of the exertion-test averages 26 minutes and 22 seconds before and 36 minutes and 21 seconds after the training. This means an increase of the power produced of 165600 Nm (65%).

c. Recovery stage:

Of all determined quantities only the decrease-percentage of the lactic acid after "twelve minutes' recovery" is significantly different. The decrease-percentage is 47% before and 53% after the training.

1. a. The respiratory minute volume is higher before than after the training for a certain submaximum work-load. This is made possible because of an improvement of the ventilatory efficiency as a consequence of a more equable alveolar ventilation and a greater alveolo-capillar oxygen gradient. The fact, that this improvement of the ventilatory efficiency does not appear from a significant reduction of the ventilation equivalents after the training, is caused by the fact that the oxygen uptake for the same work-load has

been reduced as well.

- b. The respiratory minute volume at breaking-point is in study II 25% higher than in study I. This means that after training the athletes are able and willing to use a higher amount of their maximum respiratory minute volume during physical exertion.
2. a. At submaximum work-load the oxygen uptake turned out to be less after the training than before. This is probably due to an improvement of the efficiency of the muscle work by which the relation between the external work performed and the oxygen required for this is favoured.
- b. The calculated maximal oxygen uptake, which is generally regarded to be one of the most important criteria for the determination of the physical work capacity, was about 29% higher after the training than before it. This points to clean training effects with respects to the oxygen-transporting mechanisms.
3. a. The heart-frequency of the work-load examined is lower after the training than before it as a consequence of a slighter need of oxygen due to an improvement of the mechanical efficiency, an increased cellular oxygen extraction and an under the influence of training improved distribution of the cardiac output among the active organ systems.
- b. Both the heart frequency and the arterial blood-pressure are not significantly different at breaking-point before and after the training. So the maximum heart-frequency and the arterial blood pressure turn out not to be influenced by training in these experiments.
4. a. The higher pH and the lower lactic acid concentration at the submaximum work-load in study II points to a slighter anaerobiosis under the influence of training.
- b. The observation that the lactic acid concentration was higher at breaking-point in study II than in I was not statistically significant. The greater perseverance as observed after training by Biersteker and van Leeuwen, which expressed itself in the willingness to perform physical work at a higher lactic acid concentration in the blood, could not be confirmed by us with certainty.

5. The degree of hemoconcentration was not significantly different before and after the training during the experiments. The lower hemoglobin concentration at rest may be due to a relatively more increased plasma volume compared with the increase of the cell-volume. However, the fact that the hematocrit at rest remained unchanged before and after the training contradicts this interpretation. In the explanation of the insufficient increase of the total protein concentration in the plasma compared with the cell volume, the mutually interactions of a narrowing of the marginal streaming of plasma and the loss of proteins during muscle contractions, must be taken into account.
6. The different stages of the exertion test turned out not to have the same practical value for a determination of the training effects for a variety of reasons. Especially the results of the "recovery stage" were disappointing.
7. The increase of the maximum work performed, which is expressed in the extension of the total duration of the exertion test, turns out to be considerable. The extension of the average duration of the exertion, which sets in under the influence of training, amounts to circa 30%. The exterior work performed in this amounts, as a consequence of the step-by-step increasing of the exertion test, to about 65% of the averagely total work performed in study I.

In chapter 6 a determination was made of the decline of the training effects, six months after breaking-off the training. Seven of the sixteen rowers could be examined for the third time six months after the end of the training. These were the stages in the step-by-step increasing work-load used for comparison:

1. The third minute of a 160 Watt work-load;
2. The third minute of a 220 Watt work-load;
3. Maximum work-load.

The parameters determined were: the respiratory minute volume, the oxygen uptake and the lactic acid. The results of the three comparative tests are:

a. Submaximum work-load :

Respiratory minute volume: for the two submaximum work-loads investigated, the respiratory minute volume in study II (after the training) averages 22% less than in study I (before training). The respiratory minute volume for these work-loads averages 6% less in study III (six months after training) than before training.

Lactic acid: at 160 Watt the lactic acid in study II is 42% lower than in study I. In study III the difference with study I is only 7%.

Oxygen uptake: the differences at submaximum work-load are slight in the three experiments.

b. Maximum work-load :

Respiratory minute volume: in study I, II and III it averaged respectively 88, 120 and 114 litres.

Lactic acid: in study I, II and III this amounted respectively to 7,6 mmol/l, 9,1 mmol/l and 9,4 mmol/l.

Oxygen uptake: in study I, II and III this was respectively 2763 ml., 3457 ml. and 2891 ml. at breaking-point.

Total duration of the exertion test: in study I, II en III this averaged respectively 27 minutes and 42 seconds, 37 minutes and 24 seconds, 21 minutes and 42 seconds.

The repeated exertion tests were illustrated by those of two rowers. One of the two examples concerned a 19 years old rower who had both anamnestic and clinical indications for the existence of a disturbance in the lung-function. This rower (E.D.) was distinguished from the other (P.R.) because the former's respiratory minute volume at breaking-point did not come near the maximum voluntary minute volume (107,3 litres) in any of the experiments. The other rower (P.R.) clearly exceeded the maximum voluntary minute volume (105,8 litres) in the studies II and III.

From these data the following conclusions may be drawn:

1. The determinations made six months after breaking-off the training of the respiratory minute volume, the oxygen uptake and the lactic acid at submaximum work-load show that the originally existing training-effects have almost completely disappeared.

2. The observations at breaking-point in study III even point to a decline of the physical condition to a lower level than that in study I. Anamnestic data make it probable that the explanation for this phenomenon must be found in a most licentious way of living, in comparison with the ascetic way of living during the rowing-season.
3. The three repeated exertion tests were examined in two rowers. One of them, who before training had indications of loss of elasticity and bronchospasm on the spirogram, turned out not to exceed the maximum voluntary minute volume determined before training in any of the experiments; this in contrast to the other rower. The possibility that the disturbance, diagnosed in the lung-function of the person under observation, restricts the physical work capacity cannot be excluded.

In chapter 7 an attempt was made to classify the physical condition and the mentality, and the quantitative improvements of both by training, for each rower. At the same time a study was made to see to what extent both were connected with their previous rowing experience, the rowing coach's judgment and the bodyweight, both before and after training. A quantitative analysis of the physical condition was concluded by classifying the averages of the respiratory minute volume and the Heart Work Index at 160 and 200 Watt and the lactic acid at 160 Watt. The classification of the three parameters was added up. This addition provided the "condition-index". Using the respiratory minute volume and the lactic acid at breaking-point, the "mentality-index" was determined in a similar way. The former rowing-experience, the coach's judgment and the bodyweight of each rower were classified as well. The classifications of the various, possibly related criteria, were correlated.

The results of the operations were as follows: "The condition-index" of all rowers improved under the influence of training. The same thing happened with the "mentality-index" of 14 of the 16 rowers. Both for the "condition-index" and for the "mentality-index" the improvements for each rower differed quantitatively. A statistically significant positive correlation turned out to exist between:

- a. Condition-index I (study I) and mentality-index I (study I);
Condition-index I (study I) and coach-index;
Condition-index I (study I) and body-weight index I;
- b. Condition-index II(studyII) and the difference between
Condition-index I and II;
Condition-index II(studyII) and mentality-index II;
Condition-index II(studyII) and coach-index;
- c. Mentality-index I and rowing-experience index.

The following conclusions may be drawn from these data:

1. After the training the individual classification according to physical condition is, apart from the starting condition before the training, influenced by individually quantitative differences in training-effects in the group examined.
2. Former rowing-experience turns out to be of no importance for the physical condition before training, but it does appear to have something to do with the existing perseverance before training.
3. The statistically significant improvement of the physical condition and the perseverance as well as the statistically significant correlation between the perseverance and the physical condition after the training show that rowing-training promotes both perseverance and an improved physical condition.
4. The coach's judgment appears to be formed by the impression of the individual condition rather than by the individual perseverance.
5. Before training a relation exists between the classification according to physical condition and the one according to the body-weight. This relation no longer exists after training. After training the classification according to physical condition is probably influenced to a relatively larger extent by circulatory, ventilatory and metabolic factors. This means that the results of the exertion tests are more specifically determined by physical characteristics other than the body-weight.
6. Finally, the former rowing-experiences did not turn out to have any statistically significant influence on the

improvement of the physical condition appearing under the influence of training.

In chapter 8 an attempt was made to find a solution for the cyanosis observed in a number of experiments discussed in chapter 5.

During the step-by-step increasing work-load an analysis of the arterial blood gases was made with ten testees. At the same time the end-expiratory carbon dioxide content was visualised by means of a capnogram. Determinations of the oxygen content in the inspiratory part of the spirometercircuit were made in two experiments during the step-by-step increasing work-load. The results of these experiments were as follows:

- a. Three minutes before breaking-point the oxygen tension was determined in the arterial blood. In the ten experiments the oxygen tension ranged from 115 mmHg to 47 mmHg.
- b. The decrease of the average oxygen tension shortly before breaking-point was accompanied by an excessive increase of the average respiratory minute volume and the average lactic acid.
- c. The decrease of the arterial oxygen tension and the excessive increase of the respiratory minute volume and the lactic acid were not related to the rise of temperature which took place in the spirometer between the moment of starting and breaking-point.
- d. Moreover, no increase of the carbon dioxide content in the expiratory air took place during the experiments.
- e. During two exertion tests fluctuations were registered in the oxygen content of the inspiratory part of the spirometercircuit, which in the worst case created an artificial situation to be compared with labour circumstances at a height of 2.000 metres.

Taking these results and those from chapter 5 into account, the following conclusions may be drawn:

1. It is more than likely that the observed cyanosis is caused by a decrease of the arterial oxygen tension in the exertion test used.
2. The shortly before breaking-point increasing ventilation equivalences (chapter 5) may be due to a deterioration of

- the ventilatory efficiency occurring at maximum work-load.
3. The fluctuations in the oxygen content in the inspiratory part of the spirometer play a non-negligible part in the disturbances in oxygenation.

In chapter 9 we investigated the value of a submaximum exertion test in getting an impression of the maximum work capacity on the bicycle-ergometer and of the work capacity in the boat.

In the investigation of the predicting value of the submaximum exertion test regarding the work capacity on the bicycle-ergometer, a number of parameters at 160 Watt was correlated with the total duration of the exertion test on the bicycle-ergometer.

In order to get an impression of the work capacity in the boat by means of a laboratory test, the individual determinations of a number of parameters at 160 Watt were correlated with the time required for and the lactic acid after rowing 1.000 metres.

These operations provided the following results:

- a. The submaximum exertion test and the maximum performance on the bicycle-ergometer.

The pulse-pressure, heart frequency, Heart Work Index, lactic acid and the respiratory minute volume at 160 Watt appeared to have a significant negative correlation with the total duration of the exertion test. A positive correlation existed between the oxygen pulse-pressure at 160 Watt and the total duration of the exertion test. The correlation coefficient for the heart frequency and the lactic acid amounted respectively to $r = 0,7107$ and $r = 0,6879$.

The increase of the heart frequency and the Heart Work Index for the work-load examined (160 Watt), which was less under the influence of training, correlated significantly with the lengthening of the total duration of the exertion test under the influence of the training.

- b The predicting value of the sub-maximum exertion test with respect to the rowing performance to be expected.

The time in which the 1.000 metres were rowed in the tests, which were repeated three times with a six week's interval, improved for each rower. The times averaged 318 seconds in boat-test I, 314 seconds in boat-test II and 309 seconds in boat-test III.

The lactic acid averaged 16,7 mmol/l in boat-test I, 17,7 mmol/l in boat-test II and 13,3 mmol/l in boat-test III.

For 1.000 metres there did not exist a statistically significant relation among lactic acid, the time needed for rowing the distance and the individual body-weight.

The exertion tests which were repeated three times with a six week's interval, did not show any systematic training-effects.

Among four parameters, determined at 160 Watt, a significant correlation exists with the rowing-time for 1.000 metres. These four parameters are: the systolic blood-pressure, the pulse-pressure, the Heart Work Index and the maximal oxygen uptake.

On account of these observations we came to the following conclusions:

1. The maximum work capacity on the bicycle-ergometer is predictable to some extent from the determinations of some parameters at a submaximum work-load. These parameters have been shown in table 9.9. Since the correlation coefficients are relatively slight, this cannot lead to the conclusion that the maximum exertion test may be completely replaced by a submaximum exertion test.
2. The systolic blood-pressure, the Heart Work Index, the pulse-pressure and the maximum oxygen uptake during the submaximum exertion test (160 Watt) have a predicting value regarding the rowing-performance to be expected. As such they can be used in getting an impression as to the individual capability for race-rowing.
3. The absent effects of training in the three repeated exertion tests raise the question whether improvement

of the physical condition is not brought about exclusively by the long distance and interval training which precedes the intensive boat-training; but an improvement of the rowing-performance depends mainly on an improvement of the rowing-technique.

On account of the experience acquired in the three years of this investigation and the medical attendance of the group of race-rowers in question, a few general comments may be made.

1. The physical examination, which elsewhere is done in the scope of a general sport examination, has proved to be insufficient in practice. More or less serious physical defects have been diagnosed with three of the twenty-five students which were examined in the course of three years. Two of them suffered from a cardiac affection; one of them turned out to have a benign tumour of the bones.
2. In some testees a slightly increased diastolic blood-pressure was observed during the period of rest (30 minutes) preceding the exertion test. No enlargement of the heart configuration was observed at an X-ray examination. Nor were there any electro-cardiographical indications of an overstrain of the left ventricle. Apart from this the reaction pattern of the blood-pressure during the exertion test was entirely identical to the one of the other testees. Therefore it is recommendable to observe the arterial blood-pressure during physical exertion before declaring a sportsman unfit because of a high blood-pressure.
3. It is my experience that rarely physical phenomena of overtraining, in the sense of extra-systoles during the exertion, changes of the blood-pressure or loss of the body-weight, can be ascertained as the cause of an unexplicable decline of rowing achievements. Apart from the fact that the rowing-technique plays a part in this, more than once a clear connection with study problems or social problems of a different nature was observed.
4. The injuries met with in the three years, only consisted of back-troubles of myogenic nature, tendovaginitides and infected blisters. These injuries were mainly observed in the case of first-year rowers. They were advised to

continue their rowing-training less intensively. This adapted training often had a satisfactory effect on the complaints and prevented a strong decrease of the rowing-condition. Two of the six students who dropped out of the original group of twenty-two rowers, did so because of persisting back-troubles.

5. Two rowers were prescribed a low-caloric, high-protein and high carbohydrate diet because of their overweight during the rowing-season. Both students concerned and their coaches were of the opinion that their daily training was not troubled by this, in spite of the clear loss of weight.
6. In following up the physical condition of a larger group of rowers, the application of a submaximum exertion test with determinations of the heart frequency and the lactic acid in arterialized capillar blood has proved to be useful for the determination of the physical capacity. Especially the systolic blood-pressure and the Heart Work Index determined at a submaximum exertion test, give an impression of the race-rowing capability.
7. Before using a closed spirometer at maximum exertion tests, it should be ascertained that the oxygen content in the inspiratory part of the spirometer stays at 20.9%.
8. When a rower intends to resume training after the holidays it is recommendable, because of the considerable drop of the physical condition in the period without training, to advise the person concerned to keep his body-weight at the same level during this period and to practise sports other than rowing. The sports which contribute most to the enlargement of the maximal oxygen uptake are swimming and athletics.

LITERATUURLIJST

1. ANDREW, G.M., C.A. GUZMAN e.m., (1966), Effect of athletic training on exercise cardiac output. *J.applied physiol.* 21(2), 603.
2. ÅSTRAND, P.O., J.HALLÄCK, (1963), Blood lactates after prolonged severe exercise. *J.applied physiol.* 18(3), 619.
3. ÅSTRAND, P.O., B.EKBLOM, (1965), Intra-arterial bloodpressure during exercise with different muscle groups. *J.applied physiol.* 20(2), 253.
4. ÅSTRAND, P.O., I.RYHMING, (1954), A Nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J. applied physiol.* 218(7), 218.
5. ÅSTRAND, P.O., (1968), Physical performance as a function of age. *J.A.M.A.*, vol. 205, no.11, 729.
6. ASMUSSEN, E., M.NIELSEN, (1955), Cardiac output during muscular work and its regulation. *Physiol. Reviews.* vol. 35, 778.
7. ASMUSSEN, E., M.NIELSEN, (1950), The effect of auto-transfusion of "work-blood" on the pulmonary ventilation. *Acta Physiol.Scand.* 20, 80.
8. ASMUSSEN, E., M.NIELSEN, (1960), Alveolo-arterial gas exchange at rest and during work at different O₂ tensions. *Acta Physiol. Scand.* 50, 153.
9. ASMUSSEN, E., S.MOLBECK, (1959), Methods and standards for evaluation of the physiological working capacity of patients. *Comm. Test. and Obst.Instit., Danish Nat.Assn.Infantile Paralysis*, 4, 3.
10. BANNISTER, R.G., D.J.C. CUNNINGHAM, (1954), The carbon dioxide stimulus to breathing in severe exercise. *Journal.Physiol.* 125, 90.
11. BANNISTER, R.G., D.J.C. CUNNINGHAM, (1954), The effects on the respiration and performance during exercise of adding oxygen to the inspired air. *Journal.Physiol.* 125, 118.
12. BARTLETT, R.G., H.F.BRUBACH, (1958), Oxygen cost of breathing, *J. applied Physiol.* 12(3), 413.
13. BEAVER, W.L., K.WASSERMAN, (1968), Transients in ventilation at start and end of exercise. *J.applied Physiol.* 25(4), 390.
14. BEVEGÅRD, B.S., J.SHEPHERD, (1967), Regulations of the circulation during exercise in man. *Physiol.Reviews.* 47, 178.
15. BIERSTEKER, P.A., A.M. VAN LEEUWEN, (1966), Report on physiological effects of altitude. (N.S.F.).
16. BINK, B., J.TIMMERS, (1966), The aerobic capacity in men aged 20 to 66. *Acta Physiol.Pharmacol.Neerl.* 14, 1.
17. BINK, B., (1959), Dissertatie.

18. BINK, B., (1970), 11de Federatieve Vergadering van medisch biologische verenigingen en van verenigingen ter bevordering van klinisch wetenschappelijk onderzoek.
19. BINKHORST, R.A., P.VAN LEEUWEN, (1963), A rapid method for the determination of aerobic capacity. *Int.Z. angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol.* 19, 459.
20. BINKHORST, R.A., J.POOL e.m., (1966), Maximum oxygen uptake in healthy non-athletic males, *Int.Z. angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol.* 22, 10.
21. BINKHORST, R.A., J.A.VOS, (1966), Aerobe capaciteit van een groep roeiers gedurende een periode van training. *Sportmedisch bulletin*, no. 2.
22. BONJER, F.H. e.a., (1965), Fysiologische methoden voor het vaststellen van belasting en belastbaarheid. Gezondheidsorganisatie T.N.O.
23. BOUHUYS, A., K.E.HEGSTAM, (1956), Efficiency of pulmonary ventilation during rest and light exercise. *Acta Physiol.Scand.* 25, 289.
24. BROUHA, L., (1962), Physiology of training, including age and sex differences, *J. Sports Med. & Phys.Fitness* 2,3.
25. BURGER, G.C.E., G.A. HARTEN (1957), Arbeidsbelasting en arbeidshypertensie, *Ned. T.v.Geneesk.* 101, 946.
26. CERRETELLI, P., J.PIIPER e.a., (1964), Circulation in exercising dogs. *J. Applied Physiol.* 19, 29.
27. COMROE, J.H., (1965), Respiratory adjustments in health. *Physiol. of Respiration Year Book* 192.
28. COMROE, J.H., (1944), The hyperpnoea of muscular exercise. *Physiol. Reviews.* 24, 319.
29. DEENSTRA, H., (1969), Onderzoekingen bij patienten tijdens het verrichten van arbeid. *Ned. T.v.Geneesk.* 113, 1503.
30. DIAMANT, B., J.KARLSSON, (1968), Muscle tissue lactate after maximal exercise in man. *Acta Physiol. Scand.* 72, 383.
31. DILL, D.B., (1960), Fatigue and Physical fitness. *Science and medicine of exercise and sports.* 384.
32. DOLL, E., J.KEUL e.a., (1966), Das Verhalten von Sauerstoffdruck, Kohlensäuredruck, pH, Standardbicarbonat und Base-excess im Arteriellen Blut bei verschiedenen Belastungsformen. *Int.Z. angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol.* 22, 327.
33. DOLL, E., J.KEUL, MARWALD, (1968), Oxygen tension and acid-base equilibria in venous blood of working muscle. *Am.J.Physiol.* 215, 23.
34. DOUGLAS, F.G.V., M.R.BECKLAKE, (1968), Effect of seasonal training on maximal cardiac output. *J.applied Physiol.* 25(5), 600.

35. DUKE THOMAS, H., C.GAOS e.m., (1965), Respiratory oxygen debt and excess lactate in man. *J.applied Physiol.* 20(5), 898.
36. EKBLOM, B., P.O.ÅSTRAND, (1968), Effect of training on circulatory response to exercise. *J.applied Physiol.* 24(4), 518.
37. EKBLOM, B., L.HERMANSEN, (1968), Cardiac output in athletes. *J.applied Physiol.* 25(5), 619.
38. EKBLOM, B., (1969), Effect of physical training in adolescent boys. *J.applied Physiol.* 27(3), 350.
39. ENSCHEDÉ, F.A.J., (1960), Dissertatie.
40. FALLS, H.B., (1968), Exercise Physiology.
41. FAULKNER, J.A., (1968), New Perspectives in training for maximum performance. *J.A.M.A.* vol. 205, 741.
42. FILLEY, G.F., F.GREGOIRE, (1954), Alveolair and arterial oxygen tensions and the significance of the alveolar-arterial oxygen tension difference in normal men. *J.Clin.Investigation.* 33, 517.
43. FORTUIN, G.J., G.A.HARTEN e.a., (1966), De hartslag frequentie van studenten tijdens de roeitraining. *Sportmedisch bulletin* no. 1.
44. FREEDMAN, S., (1970), Sustained maximum voluntary ventilation. *Resp. Physiol.* 8, 230.
45. GERBRANDY, J., (1959), Dissertatie.
46. GILBERT, R., G.H.BAULE, (1966), Theoretical aspects of oxygen transfer during early exercise. *J.applied Physiol.* 21(3), 803.
47. GILBERT, R., J.H.AUCHINCLASS, (1967), Metabolic circulatory adjustments to insteady-state exercise. *J.applied Physiol.* 22(5), 905.
48. HEBBELINCK, M., (1969), Ergometry in physical training research. *J.Sports Med. & Phys. Fitness*, vol. 9, 69.
49. HENDERSON, Y., F.P.CHILLINGWORTH, (1915), The respiratory dead space. *Am. J. Physiol.* 38, 1.
50. HESSER, C.M., (1965), Effect of light and moderate exercise on alveolar-arterial O_2 tension differences in man. *Acta Physiol. Scand.* 63, 247.
51. HOLLOSZY, J.O., (1967), Biochemical adaptation in muscle. *J.Biol. Chem.* vol. 242(9), 2278.
52. HOLMGREN, A., (1956), *Scand.J.Clin.Lab.Invest.* 8 suppl. 24, 1.
53. HOLMGREN, A., H.LINDERHOLM, (1958), Oxygen and carbon dioxide tensions of arterial blood during heavy and exhaustive exercise. *Acta Physiol.Scand.* 44, 203.
54. HOLMGREN, A., M.B.MacILLROY, (1964), Effect of temperature on arterial blood gas tension and pH during exercise. *J.applied Physiol.* 19(2), 243.

55. HOLMGREN, A., F. MOSSFELDT e.m.; (1960), Effect of training on work capacity, total hemoglobin, blood volume, heart volume and pulse rate in recumbent and upright positions. *Acta Physiol. Scand.* 50, 72.
56. HUCKABEE, W.E., (1958), Relationships of pyruvate and lactate during anaerobic metabolism. *J. Clin. Invest.* vol. 37(1), 255.
57. HULTMAN, E., J. BERGSTRÖM, (1967), Muscle glycogen synthesis in relation to diet studied in normal subjects. *Acta Med. Scand.* 182, 109.
58. ISSEKUTZ, B., N.C. BIRKHEAD e.a., (1963), Effect of diet on work metabolism. *J. Nutr.* 79, 109.
59. JOELS, M., H. WHITE, (1968), Chemoreceptors and adrenaline hyperpnoea. *J. Physiol.* 197, 1.
60. JOHNSON, R.H., J.L. WALTON, (1969), Metabolic fuels during and after severe exercise in athletes and non-athletes. *The Lancet*, 452.
61. JONGE de. H., (1960), Inleiding tot de medische statistiek I en II. *Ned. Instit. v. Praev. Geneesk.*, Leiden.
62. JUCHEMS, R., (1968), Blood lactate response to exercise. *New Engl. J. of Med.* vol. 278, no. 16, 912.
63. KAJSER, L., (1970), Limiting factors for aerobic muscle performance. *Acta Physiol. Scand.* suppl. 346.
64. KAMPEN van, E.J., W.G. ZIJLSTRA, (1961), *Clin. Chem. Acta.* Band 6, 538.
65. KARLSSON, J., B. DIAMANT e.m., (1968), Lactate dehydrogenase activity in muscle after prolonged severe exercise in man. *J. applied Physiol.* 25 (1), 88.
66. KARLSSON, J., P.O. ÅSTRAND, (1967), Training of the oxygen transport system in man. *J. applied Physiol.* 22 (6), 1061.
67. KARPOVICH, P.V., (1941), Ergogenic aids in work and sports. *Res. quart.* 12 suppl. 432.
68. KNEHR, C.A., D.B. DILL, (1942), Training and its effects on man at rest and at work. *Am. J. Physiol.* 136, 148.
69. KNUTTGEN, H.G., (1967), Aerobic capacity of adolescents. *J. applied Physiol.* 22(4), 655.
70. KOTTE, J.H., A. IGLAUER e.a., (1944), Measurements of arterial blood pressure in the arm and leg: comparison of sphygmomanometric and direct intra-arterial pressures, with special attention to their relationship in aortic regurgitation. *Am. Heart J.* vol. 28, 476.
71. KROON, T.A.J., (1959), *Dissertatie.*
72. LAMBERTSEN, C.J., S.G. OWEN, (1959), Respiratory and cerebral circulatory control during exercises at .21 and 2.0 atmospheres inspired P_{O_2} . *J. applied Physiol.* 14(6), 966.

73. LANOY, C., F.H. BONJER, (1956), A hyperbolic ergometer for cycling and cranking. *J.applied Physiol.* 9, 499.
74. LEEUW de, R.J.M., (1970), De zuurstoftransportfunctie van het bloed. *Ned.T.v.Geneesk.* 114, 1695.
75. LILIENTHAL, J.L., R.L.RILEY e.a., (1940), An experimental analysis in man of the oxygen pressure gradient from alveolar air to arterial blood during rest and exercise, at sea level and at altitude. *Am.J.Physiol.* 147, 199.
76. MARGARIA, R., P.CERRETELLI, (1961), Maximum exercise in oxygen. *Int.Z.Angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol.* 18, 465.
77. MARGARIA, R., P.CERRETELLI, (1963), Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *J.applied Physiol.* 18(2), 371.
78. MOSTERD, W.L., (1968), Medische begeleiding in de sport. *Mmi Em. Querido's Uitgeverij N.V.* Amsterdam.
79. MILLER, A.T., (1952), Influence of oxygen administration on cardiovascular function during exercise and recovery. *J.applied Physiol.* 5, 165.
80. MILLER, P.B., R.L.JOHNSON e.a., (1965), Effects of moderate physical exercise during four weeks of bedrest on circulatory functions in man. *Aerospace Medecine*, 1077.
81. MUSSHOF, K., H.REINDELL, (1959), Die Sauerstoffaufnahme pro Herzschlag (O_2 -puls) als Funktion der Schlagvolumen der arteriovenösen Differenz des Minutenvolumen und des Herzvolumens. *Zeitschrift für Kreislaufforschung* 48, 255.
82. OTIS, A.B., (1954). The work of breathing. *Physiol. Review* 34, 449.
83. OUELLET, Y., S.C.POH, (1969), Circulatory factors limiting maximal aerobic exercise capacity. *J.applied Physiol.* 27(6), 874.
84. PAPPENHEIMER, J.R., (1950), Standardisation of definitions and symbols in respiratory physiology, *Federation Proc.* 9; 602-605.
85. PETIT, J.M., E.G.MILIC, (1959), Role of the diaphragm in breathing in conscious normal man. *Arch.Intern.Physiol.Biochem.* 67, 350.
86. PETREN, T., T.SJÖSTRAND, (1937), Der Einfluss des Trainings auf die Häufigkeit der Capillaren in Herz- und Skelettmuskulatur. *Intern.Z.Angew.Physiol.* 9, 376.
87. PIERCE, A.K., H.F.TAYLOR e.a., (1964), Responses to exercise training in patients with emphysema. *Arch.Intern.Med.* 113, 78.
88. REINDELL, J.H., (1965), *Handbuch der Inneren Medizin IX/I.* Springer Verlag, Berlin.
89. RILEY, R.L., (1960), Pulmonary Function in relation to Exercise. *Science and Med. of Exercise and Sports* 9, 162.
90. ROBINSON, S., (1939), Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiology* 10, 251.

91. RUSHER, J.L., P.J.STOLL, (1970), Exercise-induced hyperpnoea and uniformity and efficiency of pulmonary ventilation. *J.applied Physiol.* 28(1), 63.
92. SAIKI, H., R.MARGARIA, (1967), Lactic acid production in sub-maximal work. *Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol.* 24, 57.
93. SALTIN, B., G.BLOMQUIST, (1968), Response to exercise after bedrest and after training. *Circulation*, suppl.no. VII, vol. XXXVIII.
94. SALTIN, B., P.O. ÅSTRAND, (1967), Maximal oxygen uptake in athletes. *J.applied Physiol* 23(3), 353.
95. SEVERINGHAUS, J.W., (1958), Oxyhemoglobin dissociation curve correction for temperature and pH variation in human blood. *J.applied Physiol.* 12(3), 485.
96. SIGGAARD-ANDERSEN, O., (1960), A micromethod for determination of pH, carbondioxide, tension, base excess and standardbicarbonate in capillary blood. *Scand. J.Glin.Lab.Invest.* 12, 172.
97. SINNING, W.E., M.J.ADISAN, (1968), Cardiorespiratory changes in college women due to a season of competitive basketball. *J.applied Physiol.* 25(6), 720.
98. STAINSLY, W.M., A.B.OTIS, (1964), Blood flow, blood oxygen tension, oxygen uptake and oxygen transport in skeletal muscle. *Am.J.Physiol.* 206, 858.
99. STRÖM, G., (1949), The influence of anoxia on lactate utilisation in man after prolonged muscular work. *Acta Physiol.Scand.* 17, 440.
100. TABAKIN, B.S., J.S.HANSON, (1965), Effect of physical training on the cardiovascular and respiratory response to graded upright exercise in distance runners. *Brit.Heart J.* 27, 205.
101. THARP, G.D., C.M.TIPTON, (1966), Influence of training on tissue respiration. *Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol.* 22, 236.
102. VARNAUSKAS, E., H.BERGMAN e.m., (1966), Hemodynamic effects of physical training in coronary patients. *The Lancet*, 2 juli, 8.
103. WASSERMAN, K., A.L. van KESSEL, (1967), Interaction of physiological mechanisms during exercise. *J.applied Physiol.* 22(1), 71.
104. WHIPP, B.J., K.WASSERMAN, (1969), Alveolar-arterial gas tension differences during graded exercise. *J.applied Physiol.* 27(3), 361.
105. WILLIAMS, C.G., C.H.WYNDHAM e.m., (1967), Effect of training on maximum oxygen intake and on anaerobic metabolism in man. *Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol.* 24, 18.
106. WINDEMÜLLER, Ph. J., (1951), Dissertatie.

107. WYNDHAM, C.H., N.B.STRYDOM, (1969), Maximum oxygen intake and maximum heart rate during strenuous work. J.applied Physiol. 14(6), 927.
108. ZONDAG, H.A., (1964), Dissertatie.
109. ZIJLSTRA, W.G., (1957), A manuel of reflection oxymetric and some other application of reflection photometric. Van Gorcum's medische bibliotheek, no. 152.

NASCHRIFT

Grote dank ben ik verschuldigd aan allen, die ieder op zijn of haar terrein medewerking aan het tot stand komen van dit proefschrift hebben verleend.

Allereerst wil ik mijn grote erkentelijkheid betuigen voor de voortdurende bereidwilligheid van vele leden van de Rotterdamsche Studenten Roei-vereening "Skadi" om zich aan de experimenten te willen onderwerpen.

De door de proefnemingen opgeworpen problemen waren voor mij als klinikus vaak zeer moeilijk op te lossen. Van drie zijden ontving ik hierbij belangrijke steun. De gedachtenwisselingen met Prof. Dr. A. M. van Leeuwen, die bij voorkeur 's nachts plaatsvonden, waren zowel louterend als stimulerend. Zijn suggesties hebben een belangrijke stempel op dit proefschrift gedrukt. Voor de kritische begeleiding, die ik van Dr. J. Pool ontving geldt dit in gelijke mate. Zijn grote interesse in en ervaring met de, in dit proefschrift bewerkte, materie heeft meerdere malen reliëf aan de interpretatie van de waarnemingen gegeven. Prof. Dr. J. Gerbrandy wil ik allereerst dankzeggen voor de wijze waarop destijds dit onderzoek, dat enigszins buiten het direkte gezichtsveld van de klinikus lag, op zijn afdeling kon worden gerealiseerd. Daarna werd de gestadigheid, waarmee ik aan dit proefschrift kon werken, in belangrijke mate door zijn stimulerende begeleiding mogelijk gemaakt. Ik denk hierbij vooral aan het rangschikken van de resultaten en de vele redactionele adviezen.

Daarnaast zijn het de analisten van het Patho-Fysiologisch Laboratorium en het Centraal Klinisch Chemisch Laboratorium tot wie ik een speciaal woord van dank wil richten. Mej. J. Gohres en haar medewerksters zijn vanaf de aanvang bij de uitvoering van de experimenten betrokken geweest en zijn met hun enthousiasme steeds een grote steun voor mij geweest. Dr. J. van Weerden ben ik dankbaar voor het scheppen van de mogelijkheden om in het longfunctie-laboratorium de inspanningsproeven te kunnen uitvoeren. Mej. G. Bos en Mej. P. C. M. Dries wil ik bijzonder danken voor de nauwgezetheid, waarmee de chemische bepalingen werden uitgevoerd en tevens voor de terwille van dit onderzoek geleden ontberingen aan de waterkant. Ook op het Centraal Klinisch Chemisch Laboratorium vereiste mijn onderzoek enig passen en meten. Bij deze organisatie en de interpretatie van de waarnemingen onder- vond ik veel steun van drs. B. G. Blijenberg. Veel geduld werd

gevraagd van mejuffrouw C. Swaab. Zij was het, die zich onverstoorbaar door de herhaalde correcties van de tekeningen heenworstelde. Richtlijnen voor de statistische bewerkingen van mijn gegevens kreeg ik van de heer J. J. Radder van de afdeling Statistiek van het Instituut voor Preventieve Geneeskunde te Leiden. Hiervoor ben ik hem zeer erkentelijk.

Nadat de resultaten van dit onderzoek op schrift waren gesteld, heb ik bij de correctie van de drukproeven veel steun gehad van mej. C. A. de Jong. Voor het verlichten van deze voor mij ongewone taak wil ik haar bijzonder danken.

Het schrijven van een proefschrift is een proces van vallen en opstaan. Bij dit opstaan heb ik ontelbare malen de steun en toewijding van mijn vrouw ondervonden. De betekenis hiervan is onmogelijk in enkele woorden weer te geven.

Ook mijn vrienden in de kliniek hebben het rijpingsproces van dit proefschrift met veel suggesties en interesse begeleid. Ook hen wil ik in mijn dank betrekken.

Voor de hierin geïnteresseerden zijn de getallenreeksen van de in hoofdstuk 5 besproken waarnemingen op aanvraag verkrijgbaar.

Een verzoek hiertoe moet worden gericht aan het secretariaat van de Interne Afdeling I, Academisch Ziekenhuis Dijkzigt, Rotterdam.

CURRICULUM VITAE

op verzoek van de Medische Faculteit.

De schrijver van dit proefschrift werd geboren op 27 maart 1940 te 's-Gravenhage. Hij verkreeg in 1959 het diploma HBS-B aan het St. Aloysiuscollege te 's-Gravenhage. Hij legde in 1966 het artsexamen af aan de Rijksuniversiteit te Leiden. Op 1 januari 1967 begon hij aan zijn opleiding tot internist op de afdeling Inwendige Geneeskunde I (Hoofd Prof.Dr.J.Gerbrandy) van het Academisch Ziekenhuis Dijkzigt te Rotterdam.

